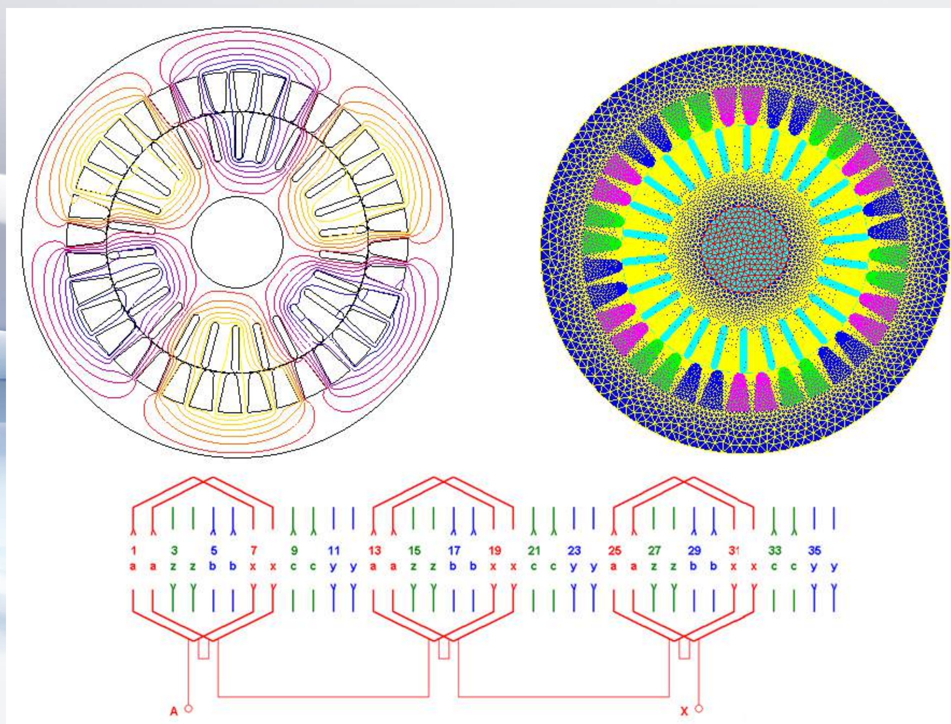
Ciprian Gheorghe Nistor

Analiza și modelarea zgomotelor motoarelor de inducție trifazate de randament premium IE 3

Studii de caz (VOL. I)



Presa Universitară Clujeană

Ciprian Gheorghe Nistor

Analiza și modelarea zgomotelor motoarelor de inducție trifazate de randament premium IE 3

Studii de caz (VOL. I)

Presa Universitară Clujeană

2018

Referenţi ştiinţifici:

Prof. univ. dr. ing. Marius Georgescu

Conf. univ. dr. ing. Luminița Roxana Cloțea

ISBN general 978-606-37-0395-9
ISBN specific vol. I 978-606-37-0396-6

Universitatea Babeş-Bolyai
Presa Universitară Clujeană
Director: Codruța Săcelean
Str. Hasdeu nr. 51
400371 Cluj-Napoca, România
Tel./fax: (+40)-264-597.401
E-mail: editura@editura.ubbcluj.ro
http://www.editura.ubbcluj.ro

CUPRINS

PREFAȚĂ

Valoarea eshatologică a trăirii umane se bazează pe faptul că la temelia oricărui act existenţial stă un *proiect*. Oamenii de ştiinţă contemporani cugetă în mod similar, adică la baza oricărei fiinţe stă un *proiect*. Achiziţia uimitoare a ştiinţei în zilele noastre, tocmai în această sferă a conştiinţei, se rezumă la singurul principiu de bază adică, existenţa se întemeiază pe spirit, nu pe materie.

Din perspectivă fundamentală, ştiinţa operează într-un sistem material caracterizat de două coordonate – spaţiu şi timp. Ulterior s-a dovedit că sub acest strat mai există un Conţinut care susţine cele două coordonate şi le dă un sens. Acest Conţinut nu are o cauză, este o existenţă care nu are cauză şi care a fost din nimic, a cărei structură nu poate fi dovedită ştiinţific, acesta este însuşi *Logosul lui Dumnezeu*. Ori acest Logos, care este întrupat în chipul *Sfintei Treimi*, constituie referinţa substanţială a proiectului.

În contextul globalizării actuale este necesară prezentarea substanţială a actului divin în ştiinţă. În primele secole, oamenii de ştiinţă – filosofii realizau un progres ştiinţific numai printr-o existenţă Supranaturală […] Dumnezeu. Aşadar, atât ştiinţa privită ca obiect de studiu, cât şi teologia, văzută cu acelaşi statut, alcătuiau un tot unitar – o sinergie – fiind inseparabile una faţă de cealaltă; lucru remarcat şi în multe lucrări din domenii precum astronomia şi filosofia. Diferenţa, din acest punct de vedere era (şi este) că prima se opreşte odată cu materia, iar cealaltă continuă. Aşadar ştiinţa s-a întemeiat pe baza teologiei, şi nu invers.

Marele fiziolog N. C. Paulescu în cartea sa *Noţiunile „Suflet" şi „Dumnezeu" în Fiziologie* specifică clar faptul că omul este alcătuit din *trup* şi *suflet* – adică din *materie* şi *spirit,* între care există o legătură indisolubilă. Tot acelaşi autor, mai departe menţionează faptul că materia este limitată ontologic şi este subordonată sufletului (spiritului).

În scrisorile transmise de Sir Isaac Newton către doctorul Bentley, în care acesta din urmă îl roagă să îi scrie despre univers şi natură, la prezentarea poziţiei planetelor şi a soarelui, Newton afirmă *„…Toate acestea nu cred că sunt explicabile doar prin cauze naturale, ci mă văd nevoit să le atribui Planului şi Ingeniozităţii unui Agent Voluntar (Dumnezeu*)". Aşadar, din aceste cuvinte, rezultă faptul că la baza tuturor fenomenelor materiale şi nemateriale stă Dumnezeu.

Rezultatele ştiinţifice se clădesc pe baza inspiraţiei, ori aşa cum spuneam la început, această inspiraţie nu este de ordin material, ci de ordin Divin, întrucât se clădeşte pe spirit.

Din această perspectivă, tot Isaac Newton fiind întrebat cum a descoperit gravitaţia prin căderea mărului – a răspuns: *„…am fost inspirat"*. Aşadar nu căderea mărului l-a dus pe Newton la descoperirea fenomenului, ci încununarea acestei acţiuni printr-un ordin Divin. Întrebat mai departe ce este gravitaţia acesta a răspuns: „Dumnezeu!". Aceste lucruri sunt consemnate în lucrarea sa *Principia Mathematica*.

Actul creaţiei, indiferent de natură, se bazează numai pe o revelaţie Dumnezeiască. Aceasta este accesibilă oricărei persoane, dacă nu îşi atrofiază, prin propriile trăiri orientate către materie, latura conştiinţei şi, chiar în această situaţie, primeşte revelaţia din tradiţia sacră şi arta sacră.

Omul de ştiinţă, în evoluţia cercetărilor ştiinţifice, abordează treptat tot ce este măsurabil – cuantificabil mergând către un fond lăuntric al acestui act. Fizicianul american David Bohm, distinge, din această perspectivă, două laturi şi anume: o latură explicită şi o latură implicită. Implicitul este tocmai fondul lăuntric, substanţial care se implică în explicit dându-i o natură spirituală.

Sfântul Maxim Mărturisitorul în explicarea Mistagogiei (rânduirea în timpul liturghiei ortodoxe) precizează următoarele lucruri: *„...iar dacă prin cele ce se văd se primesc cele ce nu se văd, cum s-a scris, cu mult mai vârtos vor fi înţelese prin cele ce nu se văd cele ce se văd, de către cei dedaţi contemplaţiei duhovniceşti. De fapt contemplaţia simbolică a celor inteligibile prin cele văzute este ştiinţă şi înţelegere duhovnicească a celor văzute prin cele nevăzute. Căci cele ce-şi sunt unele altora indicatoare trebuie să vădească reciproc prezenţa adevărată şi clară a celorlalte şi relaţia neştirbită cu acelea”.*

Aşadar ni se oferă o raportare clară a celor două trăiri umane, una materială ştiinţifică şi cealaltă duhovnicească – spirituală. Omul de ştiinţă numai prin aceste două trăiri dobândeşte un rod al celor create.

Virtutea ştiinţifică poate fi dobândită numai atunci când cele două trăiri sunt rânduite într-o lucrare sinergică. Această rânduire revine direct omului, prin crearea unui abis interior în care să poată intra Dumnezeu. Sau, din contră, omul poate să suprime acest mod de trăire, însă, în mod inconştient, va primi revelaţia Divină prin Sfânta Tradiţie. Aceasta este şi calea vieţii proiectată direct în **eshaton**. **Toate raţiunile lucrurilor materiale urcă la Raţiunea supremă, care este însuşi Logosul lui Dumnezeu.**

Brașov
Martie 2018

Pr. dr. ing. ***Nistor Ciprian Gheorghe***

CAPITOLUL 4

MODELAREA ZGOMOTULUI DE NATURĂ MAGNETICĂ PENTRU MOTOARELE ASINCRONE DE RANDAMENT PREMIUM

(STUDIU DE CAZ)

4.1. Aspecte generale

Pentru studiul de față, s-au studiat două motoare asincrone trifazate de gabarit 160: MAL 160M – 7,5 kW/1000 rpm 3 poli respectiv MAL 160L – 11 kW/1000 rpm 3 poli înfăşurări simplu strat, norma de randament IE3, produse de intreprinderea Electroprecizia Săcele (fig. 4.1).

Pentru analiza zgomotului de natură magnetică s-a utilizat programul de element finit FLUX 2D, care, pe parametrilor introduşi a calculat amplitudinea componentei magnetice a zgomotului total creat de motor precum şi alţi parametrii ce apar în funcţionarea de regim normal si fară sarcină a motoarelor asincrone trifazate.

Modelarea zgomotelor de natură mecanică şi magnetică este necesară pentru evaluarea zgomotului total produs de fiecare motor şi compararea cu rezultatele experimentale obţinute în condiţiile validării de către standardul 60034-9 pentru maşini electrice rotative norma de randament IE3 care va intra în vigoare începând cu data de 01.01.2015 pentru motoare cu puteri mai mari de 7,5 kW.

4.2. Definirea parametrilor de funcţionare pentru motoarele studiate

Parametrii de funcţionare pentru cele două motoare asincrone trifazate studiate în lucrare s-au definit conform datelor obţinute de la producător prin intermediul programului de calcul Mocap [18].

Această definire a parametrilor este necesară întrucât cele două programe de analiză a zgomotelor necesită încă de la inceputul simulărilor intruducerea parametrilor motorului pentru a putea parcurge mai departe următoarele etape din simularea propriu-zisă.

Parametrii motorului asincron trifazat de tip MAL 160 M cu puterea de 7,5 kW/1000 rpm sunt prezentaţi în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1.
Parametrii motorului asincron trifazat cu puterea de 7,5 kW/1000 rpm

Putere [kW]	7,5
Viteză de sincronism [rpm]	1000
Tensiune nominală [V]	400
Frecvenţă [Hz]	50

Grad de protecţie	IP 55
Clasa de izolaţie / Clasa de temperatură	F/B
Lungimea fierului [mm]	220
Număr crestături statorice	36
Număr crestături rotorice	26
Înălţimea întrefierului [mm]	0,5
Perechi de poli	3
Cuplu pornire/Cuplu nominal	2,51
Randament [%]	0,88
Alunecare [%]	4,0
Factor de putere	0,65
Curent pornire/Curent nominal	5,22
Tip tolă stator	M400-65
Numărul de straturi – înfăşurare stator	1
Numărul de spire pe fază – stator	180
Diametrul conductorului –stator [mm]	4x0.94
Lungimea carcasei [mm]	449
Diametrul exterior carcasă [mm]	260
Masa [kg]	87
Rezistenţa înfăşurării statorice la 20 °C [Ω]	0,914
Curentul absorbit la funcţionarea în gol [A]	13,1

În cazul motorului asincron trifazat cu rotorul în scurtcircuit de tip MAL 160 L cu puterea de 11kW/1000 rpm parametrii tehnici şi constructivi furnizaţi de către producător sunt prezentaţi în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2.
Parametrii motorului asincron trifazat cu puterea de 11 kW/1000 rpm

Putere [kW]	11
Viteză de sincronism [rpm]	1000
Tensiune nominală [V]	400
Frecvenţă [Hz]	50
Grad de protecţie	IP 55
Clasa de izolaţie / Clasa de temperatură	F/B
Lungimea fierului [mm]	280
Număr crestături statorice	36
Număr crestături rotorice	26
Înălţimea întrefierului [mm]	0,50
Perechi de poli	3

Cuplu pornire/Cuplu nominal	2,2
Randament [%]	0,89
Alunecare [%]	3,45
Factor de putere	0,69
Curent pornire/Curent nominal	4,8
Tip tolă stator	M400-65
Numărul de straturi – înfăşurare stator	1
Numărul de spire pe fază – stator	144
Diametrul conductorului –stator [mm]	2x0,9 +2x0,95
Lungimea carcasei [mm]	449
Diametrul exterior carcasă [mm]	260
Masa [kg]	88,5
Rezistenţa înfăşurării statorice la 20 °C [Ω]	0,809
Curentul absorbit la funcţionarea în gol [A]	16,1

În modelarea celor două motoare din perspectiva analizării zgomotului magnetic dar şi mecanic se consideră funcţionarea acestora în gol după finalizarea regimului tranzitoriu care apare la pornire cu limitele de analiză specifice impuse.

Schemele electrice echivalente pentru cele două motoare sunt reprezentate în figurile 4.2 şi 4.3. Acestea sunt necesare cu precădere pentru simularea zgomotului magnetic prin intermediul programului de element finit FLUX 2D.

Valorile elementelor din schemele electrice au fost furnizate de către producător şi comparate cu programul de proiectare asistată a motoarelor electrice – Mocap.

Atât în modelarea zgomotului de natură magnetică cât şi mecanică s-a ţinut cont de toate particularităţile practice ce apar în funcţionarea celor două motoare şi nu s-a idealizat niciun parametru atât din punct de vedere electric cât şi mecanic.

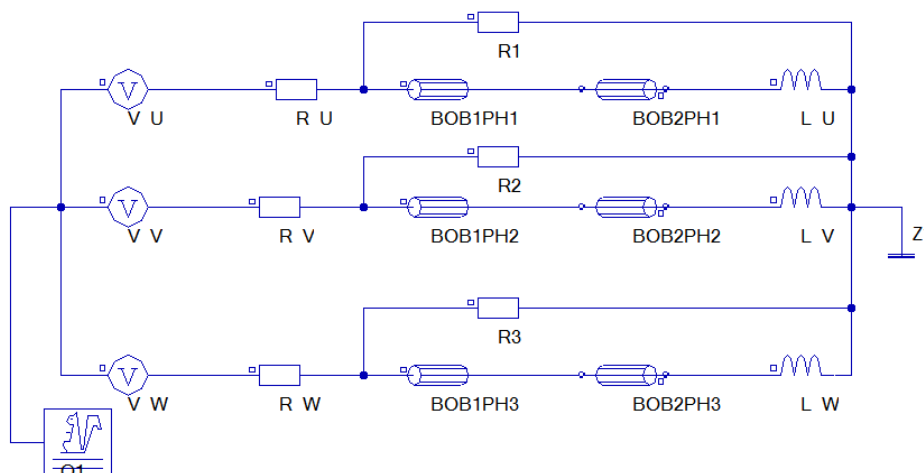


Fig. 4.2. **Schema electrică echivalentă a motorului asincron trifazat cu puterea de 7.5 kW/1000 rpm**

Valorile elementelor din schema electrică sunt prezentate în tabelul următor.

Tabelul 4.3.**Valorile elementelor din schema electrică echivalentă pentru motorul asincron trifazat 7,5 kW/1000 rpm**

Parametru	Denumire în Flux 2D	Valoare
Sursă de tensiune [V]	V _ U	400
Sursă de tensiune [V]	V _ V	400
Sursă de tensiune [V]	V _ W	400
Rezistenţă internă sursă [Ω]	R_U	0.9
Rezistenţă internă sursă [Ω]	R_V	0.9
Rezistenţă internă sursă [Ω]	R_W	0.9
Rezistenţă [Ω]	R_1	10^6
Rezistenţă [Ω]	R_2	10^6
Rezistenţă [Ω]	R_3	10^6
Rezistenţă bobină de fază [Ω]	BOB1PH1	0,914
Rezistenţă bobină de fază [Ω]	BOB1PH2	0,914
Rezistenţă bobină de fază [Ω]	BOB1PH3	0,914
Rezistenţă bobină de fază [Ω]	BOB2PH1	0,914
Rezistenţă bobină de fază [Ω]	BOB2PH2	0,914
Rezistenţă bobină de fază [Ω]	BOB2PH3	0,914
Inductanţa capătului de înfăşurare [H]	L_U	$51.12 \text{ x}10^{-3}$
Inductanţa capătului de înfăşurare [H]	L_V	$51.12 \text{ x}10^{-3}$
Inductanţa capătului de înfăşurare [H]	L_W	$51.12 \text{ x}10^{-3}$

Schema electrică echivalentă pentru motorul asincron trifazat cu puterea de 11kW/1000 rpm este prezentată în figura 4.3.

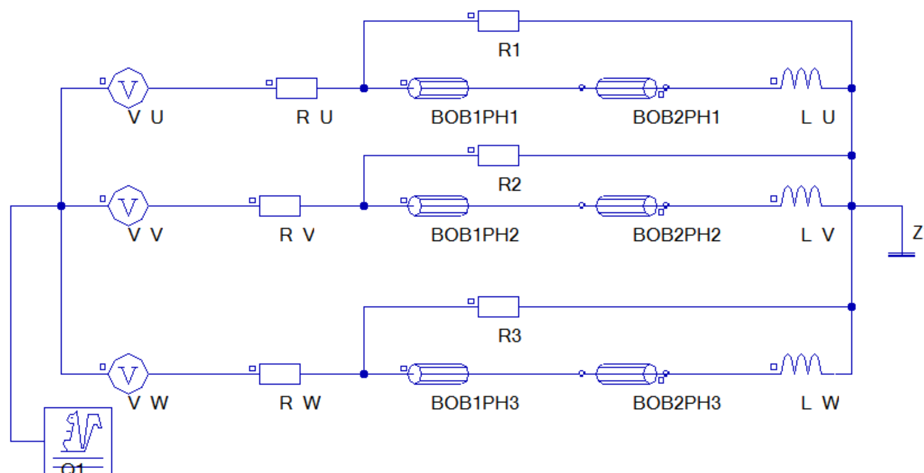


Fig. 4.3. **Schema electrică echivalentă a motorului asincron trifazat cu puterea de 11 kW/1000 rpm**

Valorile elementelor aferente schemei electrice sunt prezentate în tabelul următor.

***Tabelul 4.4*. Valorile elementelor din schema electrică echivalentă pentru motorul asincron trifazat 11 kW/1000 rpm**

Parametru	Denumire în Flux 2D	Valoare
Sursă de tensiune [V]	V_U	400
Sursă de tensiune [V]	V_V	400
Sursă de tensiune [V]	V_W	400
Rezistenţă internă sursă [Ω]	R_U	0.9
Rezistenţă internă sursă [Ω]	R_V	0.9
Rezistenţă internă sursă [Ω]	R_W	0.9
Rezistenţă [Ω]	R_1	10^6
Rezistenţă [Ω]	R_2	10^6
Rezistenţă [Ω]	R_3	10^6
Rezistenţă bobină de fază [Ω]	BOB1PH1	0,8
Rezistenţă bobină de fază [Ω]	BOB2PH1	0,8
Rezistenţă bobină de fază [Ω]	BOB1PH2	0,8
Rezistenţă bobină de fază [Ω]	BOB2PH2	0,8
Rezistenţă bobină de fază [Ω]	BOB1PH3	0,8
Rezistenţă bobină de fază [Ω]	BOB2PH3	0,8
Inductanţa capătului de înfăşurare [H]	L_U	$72.16 \text{ x}10^{-3}$
Inductanţa capătului de înfăşurare [H]	L_V	$72.16 \text{ x}10^{-3}$
Inductanţa capătului de înfăşurare [H]	L_W	$72.16 \text{ x}10^{-3}$

Rezistenţele interne ale surselor (R_U, R_V, R_W) respectiv valorile de tensiuni ale acestora (V_U, V_V, V_W) au fost asignate conform celor trei înfăşurări conectate în stea. Rezistenţele R_1, R_2 şi R3, cu o valoare de 10^6 Ω, una pe fiecare fază, au fost introduse pentru a modela voltmetrele utilizate pentru măsurarea tensiunii între fază şi nul.

Bobinele BOB1PH1 (BOB2PH1), BOB1PH2 (BOB2PH2), BOB1PH3 (BOB2PH3), reprezintă rezistenţele finale pe fază cu valorile specifice pentru fiecare motor. Inductanţele capetelor de înfăşurare s-au notat cu L_U, L_V, L_W.

Schemele de bobinaj

În analiza zgomotului magnetic pentru motoarele de inducţie cu turaţie reglabilă sunt necesare schemele de bobinaj pentru înfasurarile statorice. Pentru cele două motoare studiate, datele pentru întocmirea schemelor de bobinaj au fost preluate din programul asistat de proiectare a motoarelor asincrone trifazate cu rotorul în scurtcircuit – Mocap [18].

În prima fază se prezintă schema de bobinaj a înfăşurării statorice pentru motorul asincron trifazat de randament premium cu puterea de 7.5 kW/1000 rpm , care are un număr de 26 crestături statorice şi 3 perechi de poli.

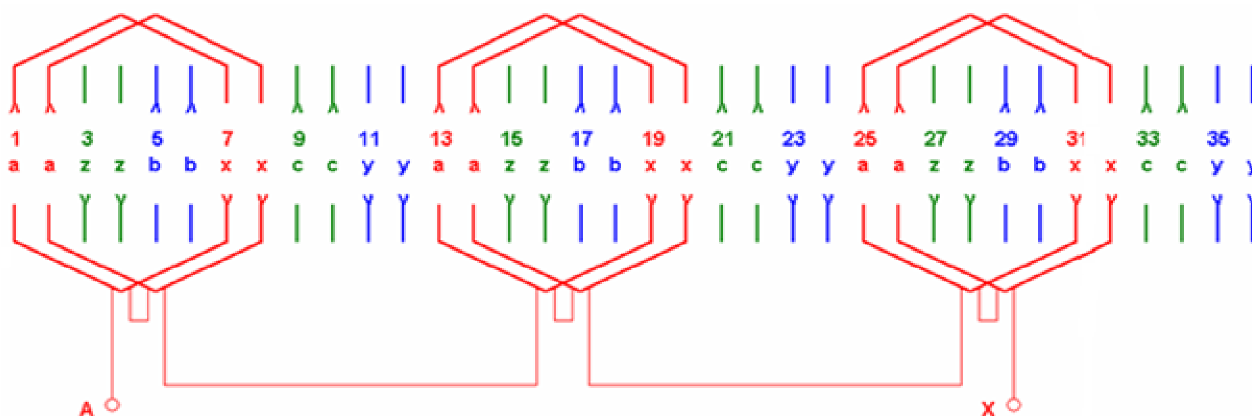


***Fig. 4.4.* Schema de bobinaj a infăşurării statorice pentru motorul MAL 160M – 7.5 kW/1000 rpm**

Datele de bobinaj ale înfăşurării statorice calculate sunt prezentate în tabelul 4.5.

***Tabelul 4.5.* Datele de bobinaj ale înfăşurării statorice pentru motorul MAL 160 – 7,5 kW**

Crestături pe pol şi fază	2
Pas diametral (crestături)	6
Pas înfăşurare (crestături)	6
Nr. conductoare în paralel	4
Nr. spire în serie pe fază	180
Nr. conductoare în crestătură	30
Diametrul conductorului -[mm]	4x 0.9

Schema de bobinaj şi datele de execuţie a acestuia pentru motorul MAL 160L – 11kW/1000 rpm sunt prezentate în figura 4.5 respectiv tabelul 4.6.

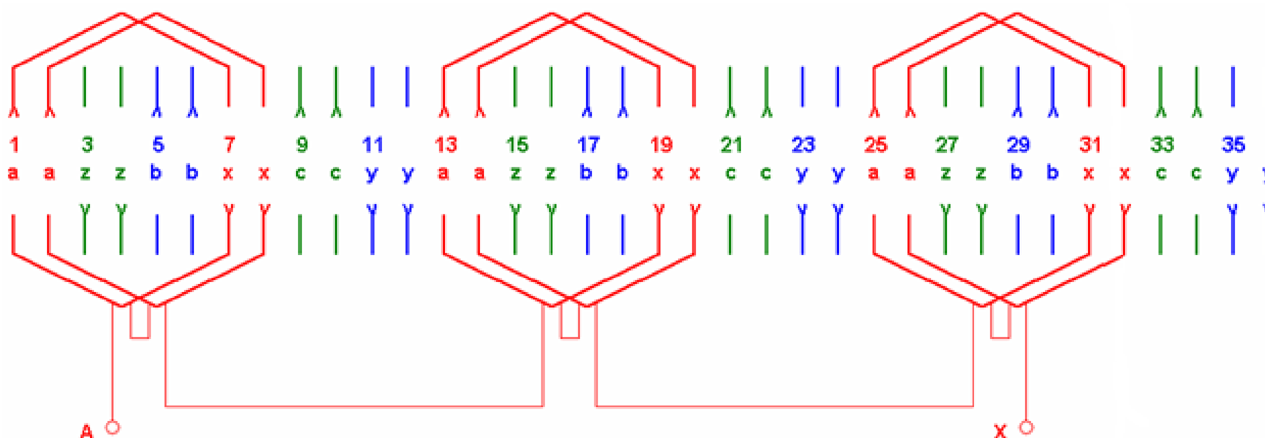


***Fig. 4.5.* Schema de bobinaj a infăşurării statorice pentru motorul MAL 160L – 11 kW/1000 rpm**

***Tabelul 4.6.* Datele de bobinaj ale înfăşurării statorice pentru motorul MAL 160L – 11 kW**

Crestături pe pol şi fază	2
Pas diametral (crestături)	6
Pas înfăşurare (crestături)	6
Nr. conductoare în paralel	4
Nr. spire în serie pe fază	144
Nr. conductoare în crestătură	48
Diametrul conductorului -[mm]	4x 0.9

Amplasarea înfăşurărilor statorice la nivel de motor este prezentată în mod comparativ în figurile 4.6 respectiv 4.7.

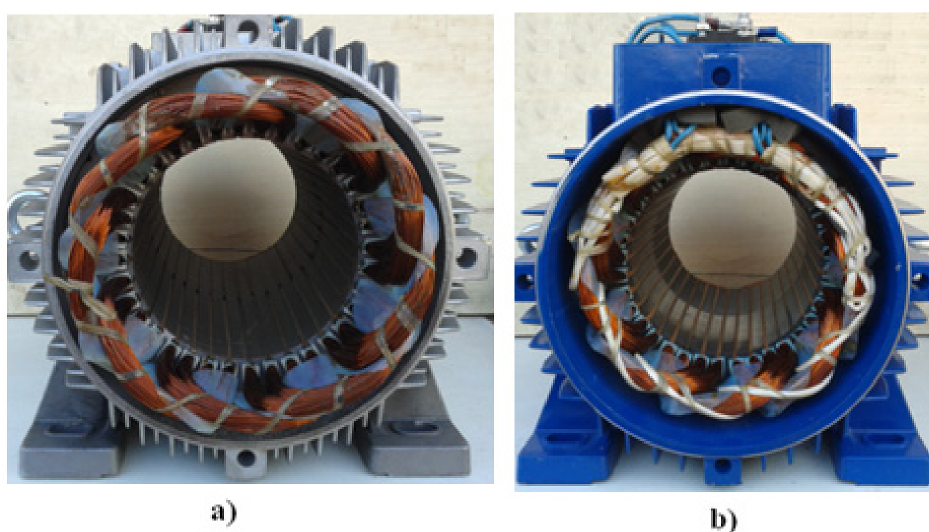


***Fig. 4.6* Amplasarea înfăşurărilor statorice la nivel de motor: a) motor MAL 160L – 11 kW/1000 rpm; b) motor MAL 160M – 7.5 kW/1000 rpm**



***Fig. 4.7.* Amplasarea înfăşurărilor statorice la nivel de motor**

Din punct de vedere constructiv bobinele sunt confecţionate din CuEm şi au fost izolate cu lac protector care asigură o izolare electrică corespunzătoare dar şi o stabilitate la forţele de natură magnetică ce apar în funcţionarea normală a motorului.

4.3. Modelarea şi analiza zgomotului magnetic pentru motorul asincron trifazat de randament premium de tip MAL 160M cu puterea de 7.5 kW/1000 rpm

Modelarea zgomotului magnetic pentru motoarele asincrone trifazate vizează în primul rând parcurgerea mai multor etape.

Utilizând programul de element finit FLUX 2D se desenează în prima fază geometria motorului după datele furnizate de producător. A doua etapă o reprezintă generarea automată a reţelei de elemente finite pe structura de motor proiectată. De menţionat este faptul că după generarea reţelei de elemente finite programul exportă şi un raport al acestei transformări. Urmează introducerea materialelor utilizate pentru fiecare componentă a motorului (tipul tolei utilizate, materialul din care sunt confecţionate barele rotorice, etc) specifincându-se şi elementul corespondent geometriei.

Tola utilizată în construcţia ambelor motoare studiate este M 400-65, carcasele sunt confecţionate din siluminiu iar barele rotorice sunt confecţionate din aluminiu scurtcircuitate la capete.

Penultima etapă o constituie întocmirea schemei echivalente cu parametrii furnizaţi de către departamentul de bobinaj al uzinei producătoare, iar la final după verificarea tuturor etapelor se generează rezultatele obţinute activând opţiunea *Solve*.

În analiza zgomotului magnetic se generează/calculează următorii parametrii:

- Distribuţia inducţiei magnetice în secţiunea motorului;
- Distribuţia liniilor de câmp magnetic în secţiune;
- Valoarea şi graficul inducţiei magnetice în întrefier;
- Nivelul continuu al presiunii acustice în funcţie de amplitudinea armonicilor, respectiv nivelul de zgomot magnetic radiat în spectrul acustic.

Fiecare parametru de mai sus caracterizează din punct de vedere fenomenologic dar şi structural zgomotul magnetic.

Modelarea zgomotului magnetic s-a facut considerând alimentarea motoarelor atât prin invertor cât şi de la reţea.

În cazul alimentării prin invertor s-au considerat trei frecvenţe de alimentare respectiv: 40 Hz, 50 Hz si 60 Hz. Pentru fiecare frecvenţă de alimentare s-au determinat parametrii caracteristici ai zgomotului magnetic prezentaţi mai sus. În cazul alimentării de la reţea (50 Hz) rezultatele s-au prezentat în mod comparativ cu alimentarea la aceeaşi frecvenţă dar prin invertor.

Geometria miezului magnetic pentru motorul de tip MAL 160M , 7.5 kW/1000 rpm a fost realizată utilizând programul FLUX 2D şi este prezentata in figura 4.8.

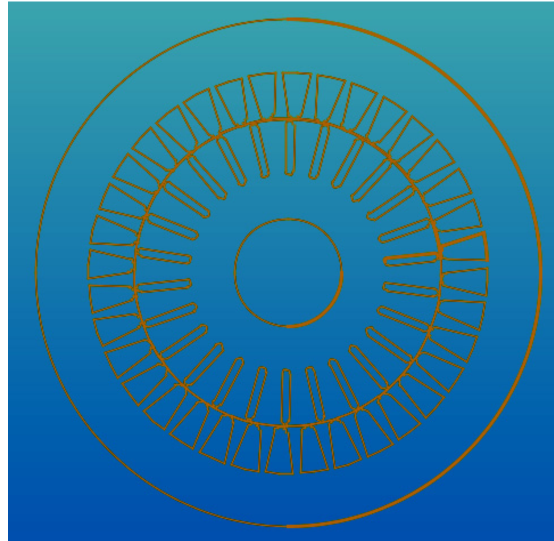


***Fig. 4.8.* Geometria miezului magnetic pentru motorul MAL 160M-7.5 kW/ 1000 rpm**

Modelele de crestături, statorică respectiv rotorică, pentru motorul analizat în acest sunt prezentate în figura următoare.

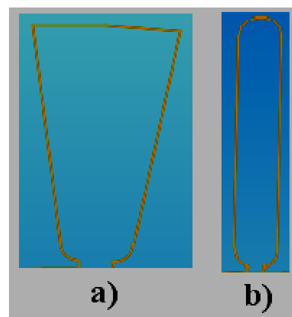


***Fig. 4.9.* a) crestătură statorică; b) crestătură rotorică;**

Reţeaua de elemente finite generată în cazul motorului asincron trifazat de randament premium cu puterea de 7.5 kW /1000 rpm este prezentată în figura 4.10.

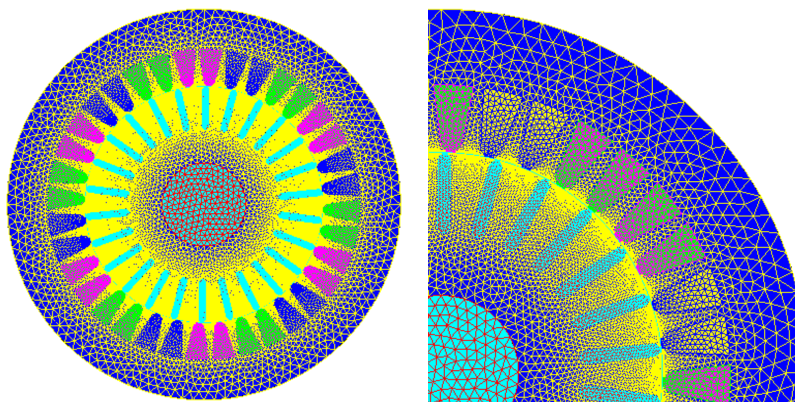


***Fig. 4.10.* Reţeaua de elemente finite generată în cazul motorulului asincron trifazat cu puterea de 7.5 kW/1000 rpm**

Raportul acestei transformări este prezentat în tabelul 2.7.

***Tabelul 4.7.* Datele reţelei de elemente finite**

Procentul de elemente neevaluate	0 %
Procentul de elemente de calitate excelentă	98.89 %
Procentul de elemente de calitate bună	1.07%
Procentul de elemente de calitate medie	0.04 %
Procentul de elemente de calitate slabă	0%
Procentul de elemente anormale	0 %
Numărul de noduri	87257
Ordinul elementelor reţelei	2

În continuare se vor analiza toţi parametrii descrişi anterior, care caracterizează atât din punct de vedere structural cât şi fenomenologic, zgomotul de natură electromagnetică generat de motorul de tip MAL 160M cu puterea de 7.5 kW/1000 rpm, randament premium IE3.

I. Alimentare prin invertor la frecvenţa de 40 Hz

a) Distribuţia inducţiei magnetice (în secţiune) pentru motorul asincron trifazat de tip MAL 160M cu puterea de 7,5 kW/1000 rpm este prezentată în figura de mai jos.

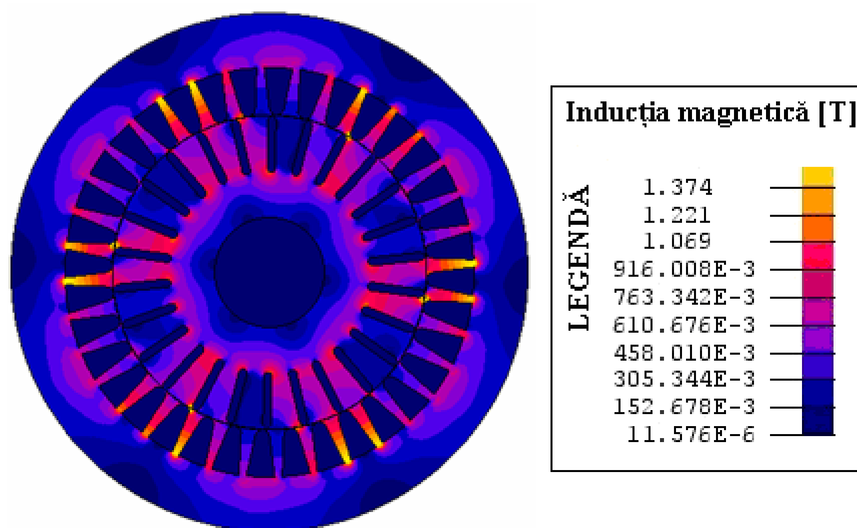


***Fig. 4.11.* Distribuţia inducţiei magnetice (în secţiune) pentru motorul asincron trifazat cu puterea de 7,5 kW/1000 rpm alimentat prin invertor la frecvenţa de 40 Hz**

Se observă ca la această frecvenţă valoarea înducţiei magnetice are valori reduse şi implicit zgomotul magnetic creeat va avea o valoare mai scăzută.

b) Distribuţia liniilor de câmp pentru motorul studiat este prezentată în figura 4.12.

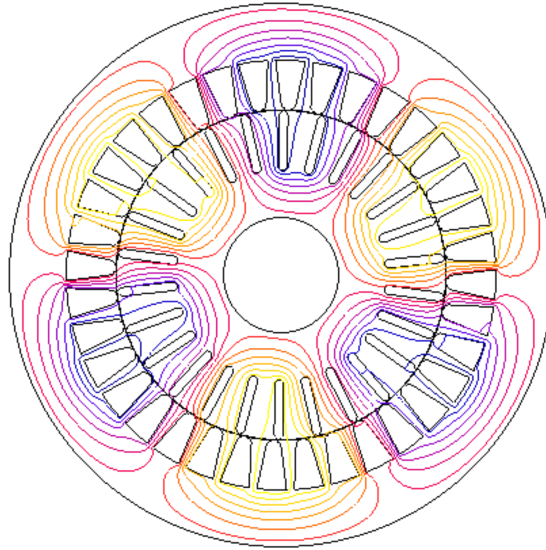


***Fig. 4.12.* Distribuţia liniilor de câmp pentru motorul asincron trifazat cu puterea de 7,5 kW/1000 rpm alimentat prin invertor la frecvenţa de 40 Hz**

c) Componenta normală a inducţiei magnetice în întrefier în situaţia alimentării prin invertor la frecvenţa de 40 Hz este prezentată în figura 4.13.

De menţionat faptul că toată analiza de zgomot magnetic s-a făcut considerând regimul de funcţionare în gol al motoarelor iar regimul tranzitoriu încheiat (0,5 s după pornire).

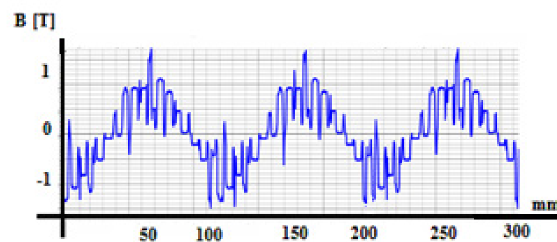


***Fig. 4.13.* Componenta normală a inducţiei magnetice în întrefier pentru motorul asincron trifazat cu puterea de 7,5 kW/1000 rpm alimentat prin invertor la frecvenţa de 40 Hz**

d) Nivelul continuu al presiunii acustice în funcţie de amplitudinea armonicilor este prezentat în figura 4.14.

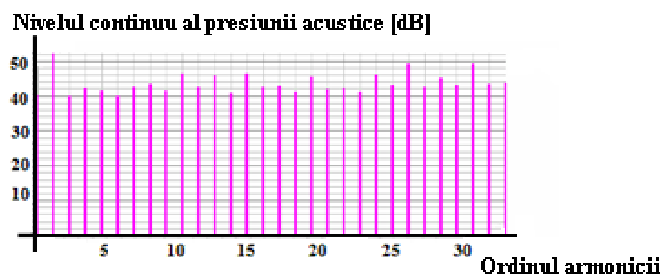


***Fig. 4.14.* Nivelul continuu al presiunii acustice în funcţie de amplitudinea armonicilor pentru motorul studiat alimentat prin invertor la frecvenţa de 40 Hz**

În cazul alimentării motorului cu puterea de 7.5 kW prin invertor la frecvenţa de 40 Hz , amplitudinea medie a zgomotului magnetic este de 44.8 dB.

II. Analiza comparativă în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 50 Hz şi direct de la reţea

a) Distribuţia inducţiei magnetice pentru motorul studiat în situaţia alimentării prin invertor respectiv de la reţea este prezentată în figura de mai jos.

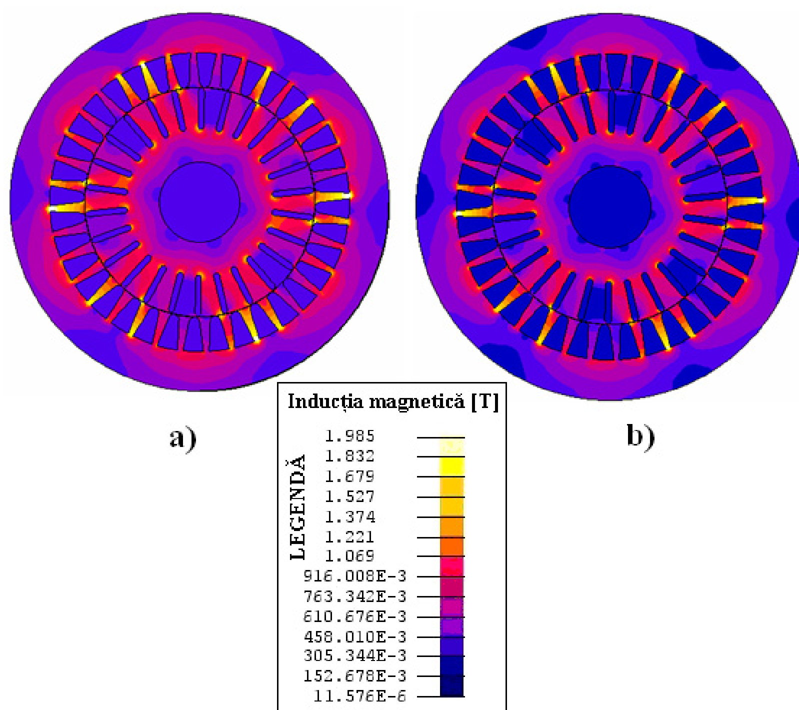


***Fig. 4.15*. Distribuţia inducţiei magnetice (în secţiune) pentru motorul asincron trifazat cu puterea de 7,5 kW/1000 rpm alimentat: a) prin invertor la frecvenţa de 50 Hz; b) direct de la reţea**

b) Distribuţia liniilor de câmp în cazul motorului studiat pentru ambele moduri de alimentare, este prezentată în figura 4.16.

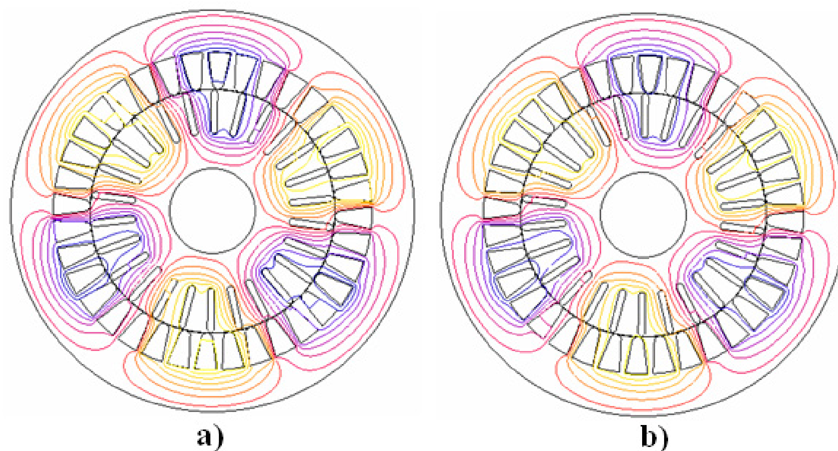


***Fig. 4.16.* Distribuţia liniilor de câmp pentru motorul asincron trifazat cu puterea de 7,5 kW/1000 rpm alimentat: a) prin invertor la frecvenţa de 50 Hz; b) direct de la reţea**

c) Componenta normală a inducţiei magnetice în întrefier este prezentată în figura 4.17.

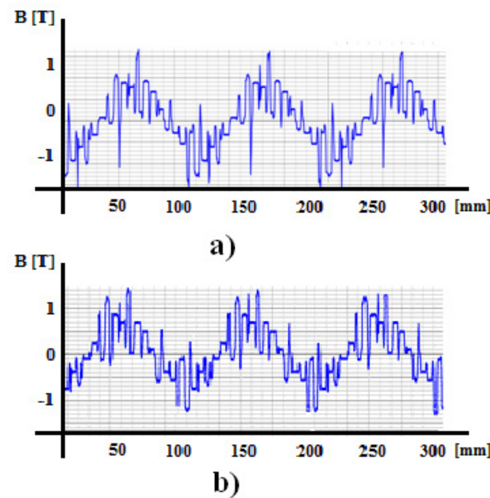


Fig. 4.17. **Componenta normală a inducţiei magnetice în întrefier pentru motorul studiat alimentat: a) prin invertor la frecvenţa de 50 Hz; b) direct de la reţea**

În cazul alimentării prin invertor se observă faptul că amplitudinea medie a inducţiei magnetice în întrefierul motorului este mai ridicată, aproximativ 1.5 T comparativ cu aceeaşi situaţie dată, însă motorul alimentat la reţea unde amplitudinea medie a inducţiei magnetice are valoarea de 1.2 T.

d) Nivelul continuu al presiunii acustice în funcţie de amplitudinea armonicilor este prezentat în figura 4.18.

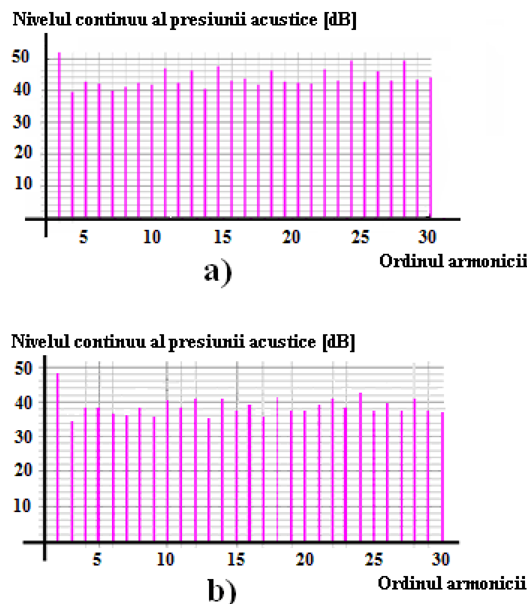


Fig. 4.18. **Nivelul continuu al presiunii acustice în funcţie de amplitudinea armonicilor pentru motorul studiat alimentat: a) prin invertor la frecvenţa de 50 Hz; b) direct de la reţea**

În cazul alimentării motorului direct de la reţea amplitudinea medie a zgomotului magnetic 39.8 dB comparativ cu situaţia alimentării prin invertor la aceeaşi frecvenţă unde amplitudinea medie a zgomotului magnetic este de 43.9 dB.

III. Alimentare prin invertor la frecvenţa de 60 Hz

a) Distribuţia inducţiei magnetice (în secţiune) pentru motorul asincron trifazat de tip MAL 160M cu puterea de 7,5 kW/1000 rpm este prezentată în figura de mai jos.

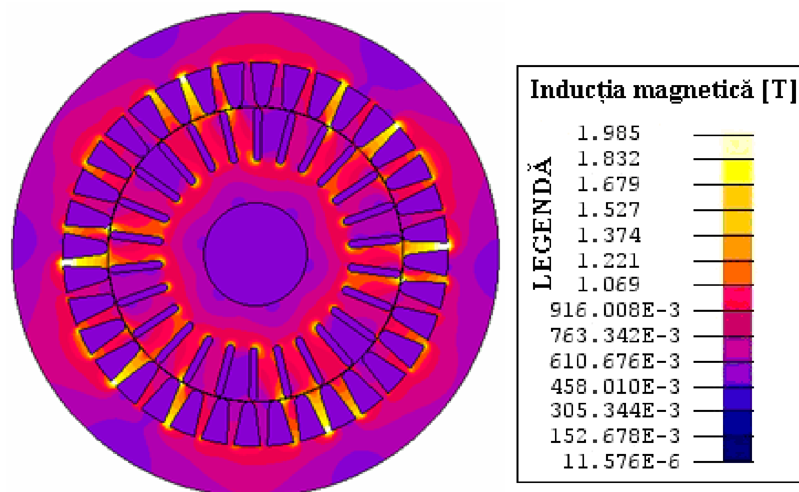


Fig. 4.19. **Distribuţia inducţiei magnetice (în secţiune) pentru motorul asincron trifazat cu puterea de 7,5 kW/1000 rpm alimentat prin invertor la frecvenţa de 60 Hz**

Se observă faptul că odată cu creşterea frecvenţei de alimentare miezul magnetic tinde să atingă punctul maxim de saturaţie, valoarea distribuţiei inducţiei magnetice este mai ridicată decât în situaţiile anterioare.

b) Distribuţia liniilor de câmp pentru motorul analizat este prezentată în figura 4.20.

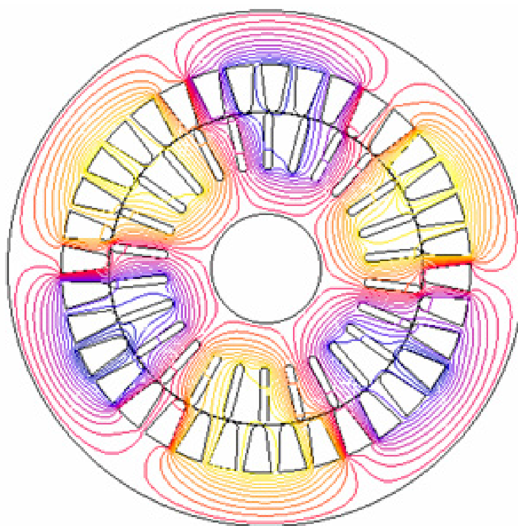


Fig. 4.20. **Distribuţia liniilor de câmp pentru motorul asincron trifazat cu puterea de 7,5 kW/1000 rpm alimentat prin invertor la frecvenţa de 60 Hz**

c) Componenta normală a inducţiei magnetice în întrefier în situaţia alimentării prin invertor la frecvenţa de 60 Hz este prezentată în figura 4.21.

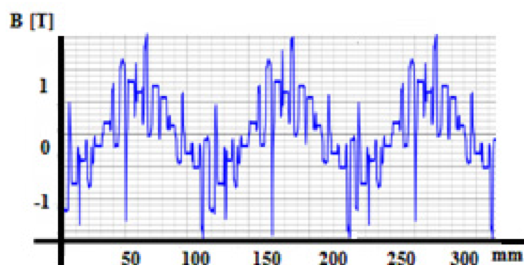


Fig. 4.21. **Componenta normală a inducţiei magnetice în întrefier pentru motorul asincron trifazat cu puterea de 7,5 kW/1000 rpm alimentat prin invertor la frecvenţa de 60 Hz**

Valoarea maximă a inducţiei magnetice în întrefier este de 1.8 T. Această variaţie neuniformă apare datorită formei crestăturilor şi implicit a armonicilor din întrefier care se interpun peste unda fundamentală a forţei magneto-motoare.

d) Nivelul continuu al presiunii acustice în funcţie de amplitudinea armonicilor este prezentat în figura 4.22.

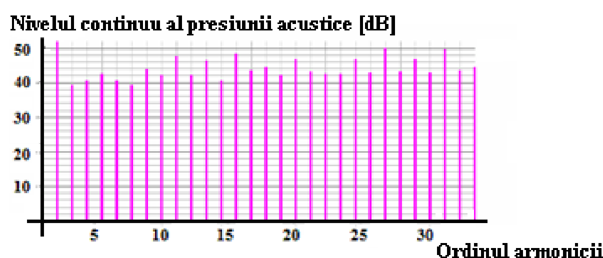


Fig. 4.22. **Nivelul continuu al presiunii acustice în funcţie de amplitudinea armonicilor pentru motorul studiat alimentat prin invertor la frecvenţa de 60 Hz**

Amplitudinea maximă a nivelului de zgomot radiat în spectrul acustic de componenta magnetică a zgomotului total este de 51.3 dB respectiv valoarea medie a acestuia este de 46.4 dB.

Se observă faptul că amplitudinea zgomotului magnetic depinde în mare măsură de frecvenţa de alimentare şi implicit de turaţia motorului. Odată cu creşterea frecvenţei de alimentare (şi implicit a turaţiei) amplitudinea zgomotului magnetic radiat în spectrul acustic începe să crească.

Concluzii

Conform documentaţiei tehnice de specialitate [30, 31, 32, 34] în cazul motoarelor de randament premium IE3, componenta magnetică a zgomotului radiat în mediu are cea mai mare pondere în producerea zgomotului total.

În cazul acestui motor se observă faptul că în momentul alimentării prin invertor, datorită armonicilor introduse de acesta, distribuţia inducţiei magnetice în întrefier este mult deformată crescând şi amplitudinea acesteia iar valoarea zgomotului magnetic creat începe sa crească odată cu creşterea valorii frecvenţei de alimentare.

4.4. Modelarea şi analiza zgomotului magnetic pentru motorul asincron trifazat de randament premium de tip MAL 160L cu puterea de 11 kW/1000 rpm

Algoritmul funcţional prin care se analizează zgomotul magnetic în cazul motorului de tip MAL 160L cu puterea de 11kW/1000 rpm este simlar cu cel prezentat anterior.

În cadrul analizei efectuate s-a considerat ca motorul funcţioneaza în regim normal şi fără sarcină la arbore.

În primă fază se prezintă geometria şi tipurile de crestături statorică respectiv rotorică din structura miezului magnetic realizate prin intermediul platfomei specializate din componenţa programului FLUX 2D.

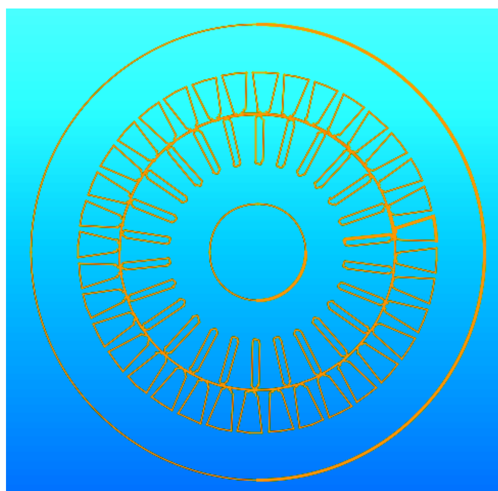
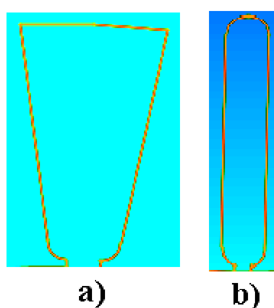


Fig. 4.23. **Geometria miezului magnetic pentru motorul MAL 160L – 11kW/1000 rpm**



a) b)

Fig. 4.24. **a) crestătură statorică; b) crestătură rotorică;**

Din punct de vedere al geometriei miezului magnetic, atât motorul cu puterea de 11kW cât şi cel cu puterea de 7.5 kW sunt identice.

Reţeaua de elemente finite generată de program, în cazul motorului asincron trifazat de randament premium cu puterea de 11 kW /1000 rpm este prezentată în figura 4.25.

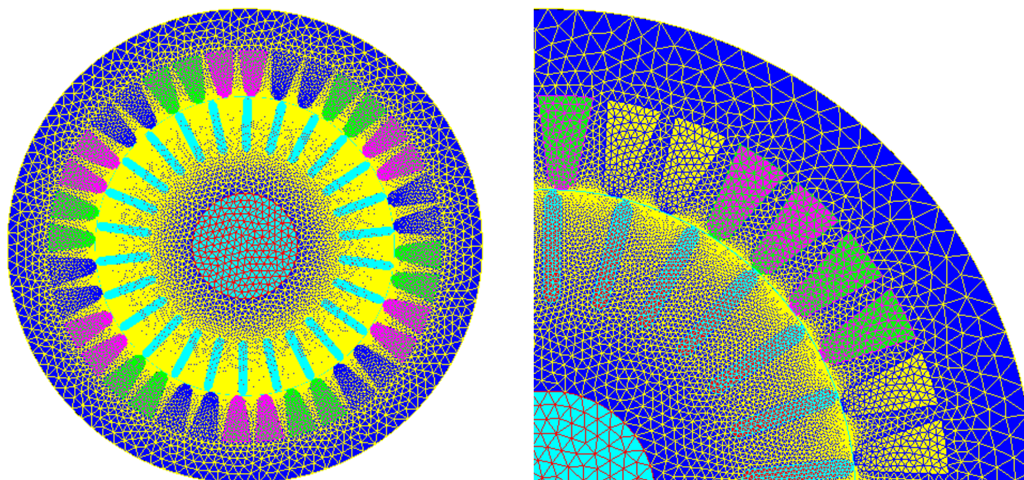


Fig. 4.25. **Rețeaua de elemente finite generată în cazul motorului asincron trifazat cu puterea de 11 kW/1000 rpm**

Raportul generat de program al acestei transformări este prezentat în tabelul următor.

Tabelul 4.8. **Structura rețelei de elemente finite**

Procentul de elemente neevaluate	0 %
Procentul de elemente de calitate excelentă	98.91 %
Procentul de elemente de calitate bună	1.07%
Procentul de elemente de calitate medie	0.01 %
Procentul de elemente de calitate slabă	0%
Procentul de elemente anormale	0 %
Numărul de noduri	86129
Ordinul elementelor rețelei	2

În mod comparativ cu rețeaua motorului studiat anterior se observă faptul că procentul de elemente de calitate excelentă este diferit. Acest lucru se datorează faptului că prin intermediul metodei de calcul identice, în cazul motorului cu puterea de 11kW s-au putut identifica mai puține noduri de rețea și implicit acest fenomen a dus la această diferență nesemnificativă din punct de vedere practic.

Pentru analiza zgomotului magnetic, așa cum s-a procedat și în cazul motorului studiat anterior se va considera alimentarea motorului atât de la rețea cât și prin invertor.

I. Alimentare prin invertor la frecvența de 40 Hz

a) Distribuția inducției magnetice (în secțiune) pentru motorul asincron trifazat de tip MAL 160L cu puterea de 11 kW/1000 rpm este prezentată în figura de mai jos.

De menționat faptul că valori mari ale inducției magnetice apar la capetele exterioare ale crestăturilor statorice acolo unde calea de curent este ingustată.

b) Distribuţia liniilor de câmp pentru motorul studiat este prezentată în figura 2.26.

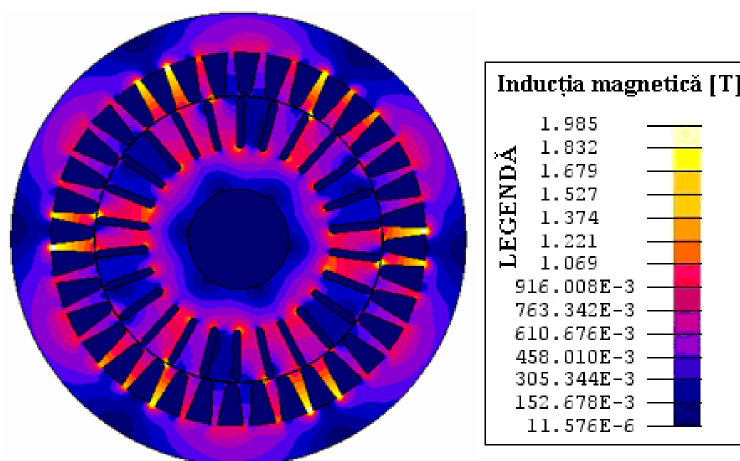


***Fig. 4.26*. Distribuţia inducţiei magnetice (în secţiune) pentru motorul asincron trifazat cu puterea de 11 kW/1000 rpm alimentat prin invertor la frecvenţa de 40 Hz**

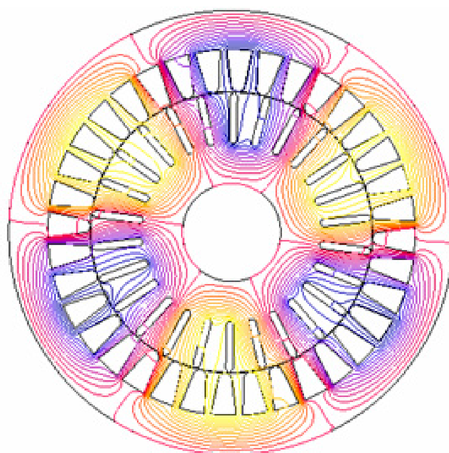


***Fig. 4.27.* Distribuţia liniilor de câmp pentru motorul asincron trifazat cu puterea de 11 kW/1000 rpm alimentat prin invertor la frecvenţa de 40 Hz**

c) Componenta normală a inducţiei magnetice în întrefier în situaţia alimentării prin invertor la frecvenţa de 40 Hz este prezentată în figura 4.28.

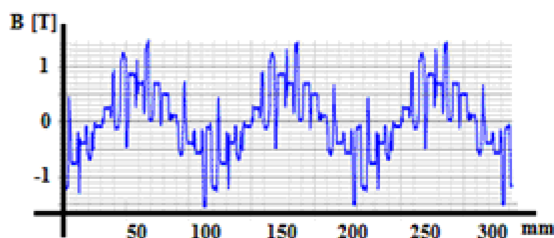


***Fig. 4.28.* Componenta normală a inducţiei magnetice în întrefier pentru motorul asincron trifazat cu puterea de 11 kW/1000 rpm alimentat prin invertor la frecvenţa de 40 Hz**

Valoarea maximă a inducţiei magnetice în întrefier în această situaţie este de 1.3 T iar valoarea medie este de 1.12 T

d) Nivelul continuu al presiunii acustice în funcţie de amplitudinea armonicilor este prezentat în figura 4.29.

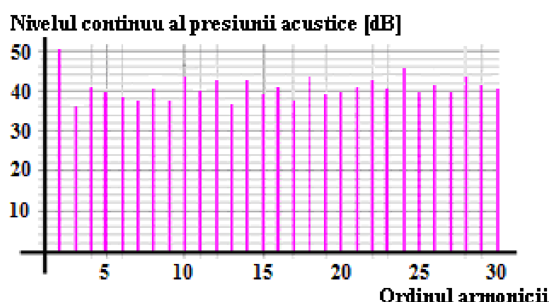


Fig. 4.29. **Nivelul continuu al presiunii acustice în funcţie de amplitudinea armonicilor pentru motorul studiat alimentat prin invertor la frecvenţa de 40 Hz**

În cazul alimentării motorului cu puterea de 11 kW prin invertor la frecvenţa de 40 Hz , amplitudinea medie a zgomotului magnetic este de 42.3 dB.

II. Alimentare direct de la reţea (50Hz) şi prin invertor 50Hz

În continuare se prezintă în mod comparativ analiza zgomotului de natură magnetică considerând motorul de tip MAL 160L – 11kW/1000 rpm alimentat atât de la reţea cât şi prin invertor la frecvenţa de 50 Hz.

a) Analiza comparativă a distribuţiei inducţiei magnetice în secţiunea motorului pentru cele două moduri de alimentare este prezentată în figura de mai jos.

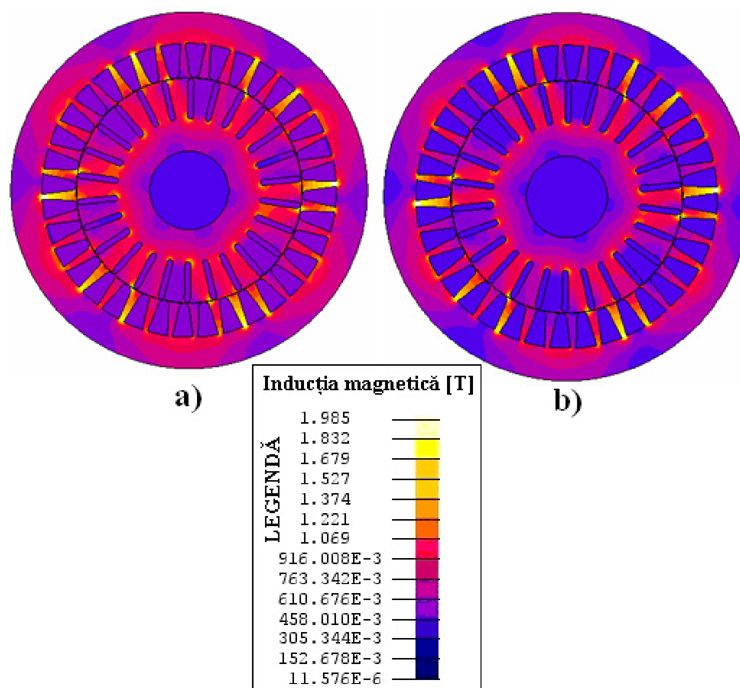


Fig. 4.30. **Distribuţia inducţiei magnetice (în secţiune) pentru motorul asincron trifazat cu puterea de 11 kW/1000 rpm alimentat: a) prin invertor la frecvenţa de 50 Hz; b) direct de la reţea**

În situaţia alimentării prin invertor la frecvenţa de 50 Hz valoarea inducţiei magnetice în miezul motorului are valori mai mari faţă de cazul în care motorul este alimentat direct de la reţea.

Acest fenomen se datorează în principal armonicilor introduse de invertor.

b) Distribuţia liniilor de câmp în cazul motorului studiat pentru ambele moduri de alimentare, este prezentată în figura 4.31.

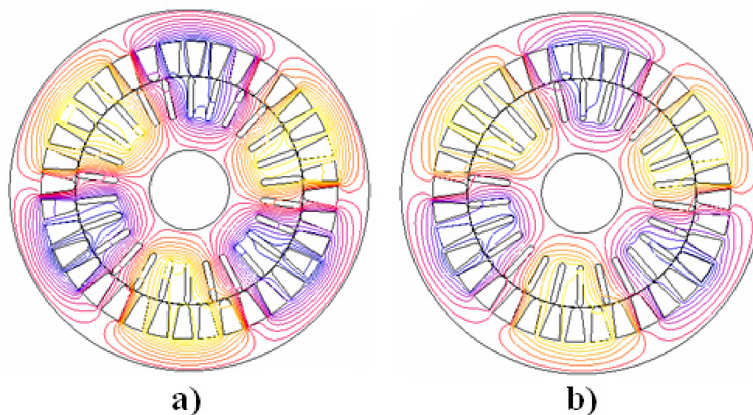


Fig. 4.31. **Distribuţia liniilor de câmp pentru motorul asincron trifazat cu puterea de 11 kW/1000 rpm alimentat: a) prin invertor la frecvenţa de 50 Hz; b) direct de la reţea**

c) Componenta normală a inducţiei magnetice în întrefier este prezentată în figura 4.32.

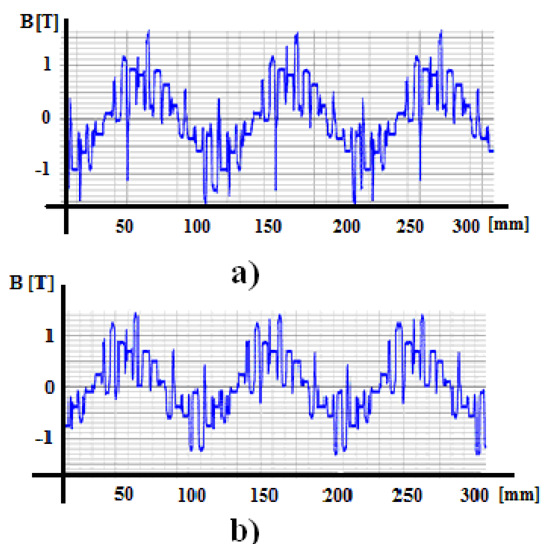


Fig. 4.32. **Componenta normală a inducţiei magnetice în întrefier pentru motorul studiat, alimentat: a) prin invertor la frecvenţa de 50 Hz; b) direct de la reţea**

În cazul alimentării prin invertor amplitudinea medie a inducţiei magnetice în întrefierul motorului este are valoarea de aproximativ 1.6, iar în cazul alimetării prin invertor amplitudinea medie a inducţiei magnetice în întrefier are valoarea de 1.3 T.

d) Nivelul continuu al presiunii acustice în funcţie de amplitudinea armonicilor este prezentat în figura următoare.

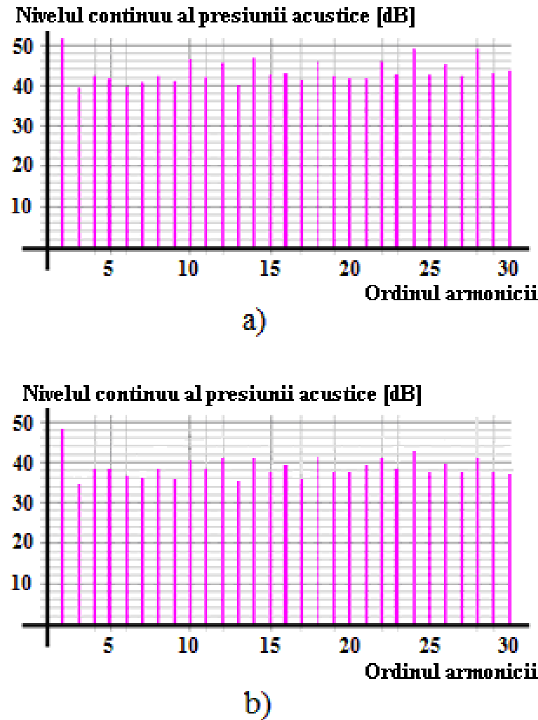


Fig. 4.33. **Nivelul continuu al presiunii acustice în funcţie de amplitudinea armonicilor pentru motorul studiat alimentat: a) prin invertor la frecvenţa de 50 Hz; b) direct de la reţea**

Din punct de vedere al generării zgomotului magnetic, în cazul alimentării motorului de la invertor acesta are amplitudinea medie de 43.4 dB respectiv în cazul figurii (b) –alimentare de la reţea, amplitudinea medie a zgomotului magnetic este de 37.9 dB.

III. Alimentare prin invertor la frecvenţa de 60 Hz

a) Distribuţia inducţiei magnetice (în secţiune) este prezentată în figura de mai jos.

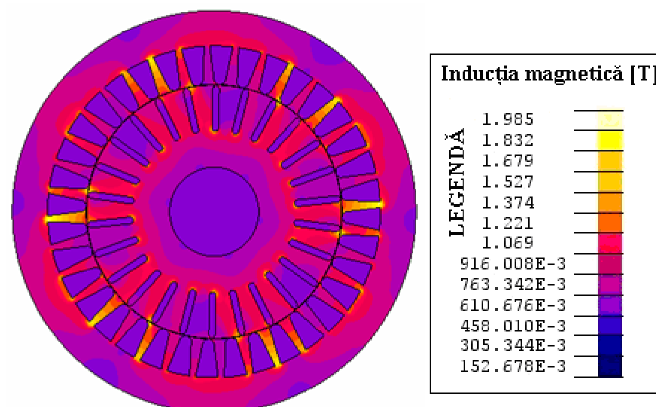


Fig. 4.34. Distribuţia inducţiei magnetice (în secţiune) pentru motorul asincron trifazat cu puterea de 11 kW/1000 rpm alimentat prin invertor la frecvenţa de 60 Hz

b) Distribuţia liniilor de câmp este prezentată în figura 4.35.

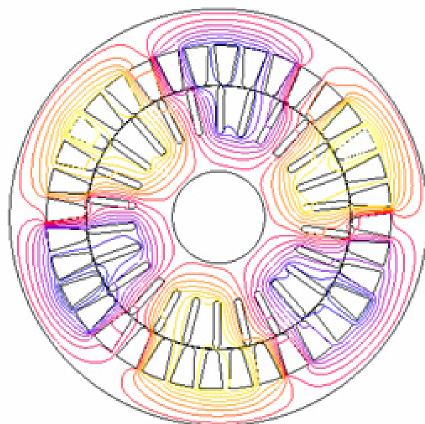


Fig. 4.35. **Distribuţia liniilor de câmp pentru motorul asincron trifazat cu puterea de 11 kW/1000 rpm alimentat prin invertor la frecvenţa de 60 Hz**

c) Componenta normală a inducţiei magnetice în întrefier în situaţia alimentării prin invertor la frecvenţa de 60 Hz este prezentată în figura 4.36.

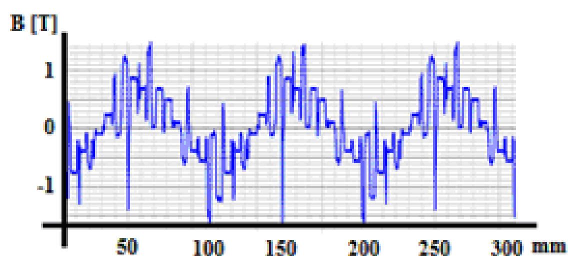


Fig. 4.36. **Componenta normală a inducţiei magnetice în întrefier pentru motorul analizat alimentat prin invertor la frecvenţa de 60 Hz**

Din grafic se observă faptul că, în cazul alimentării motorului prin invertor la frecvenţa de 60 Hz respectiv turaţie crescută, amplitudinea medie a inducţiei magnetice în întrefier are valoarea de 1.5 T.

d) Nivelul continuu al presiunii acustice în funcţie de amplitudinea armonicilor este prezentat în figura 4.37.

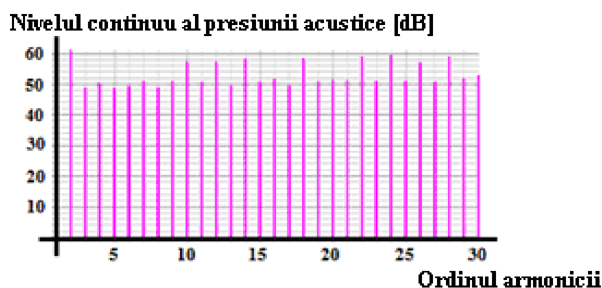


Fig. 4.37. **Nivelul continuu al presiunii acustice în funcţie de amplitudinea armonicilor pentru motorul studiat alimentare invertor -60 Hz**

Amplitudinea maximă a nivelului de zgomot radiat în spectrul acustic de componenta magnetică a zgomotului total este de 60 dB respectiv valoarea medie a acestuia este de 51.6 dB.

Concluzii

Conform documentaţiei tehnice de specialitate [30, 31, 32, 34] în cazul motoarelor de randament premium IE3, componenta magnetică a zgomotului radiat în mediu are cea mai mare pondere în producerea zgomotului total.

În cazul motorului asincron trifazat de putere 7.5 kW şi turaţie 1000 rpm analizat în cadrul acestui subcapitol se observă faptul că în momentul alimentării prin invertor, datorită armonicilor introduse de acesta, distribuţia inducţiei magnetice în întrefier este mult deformată crescând şi amplitudinea acesteia iar valoarea zgomotului magnetic creat începe sa crească odată cu creşterea valorii frecvenţei de alimentare.

Din perspectiva analizei zgomotului magnetic s-a realizat o comparaţie a valorii acestuia pentru ambele motoare la cele trei frecvenţe de alimentare, prin invertor (40 Hz, 50 Hz, 60 Hz) respectiv, alimentare de la reţea (50 Hz). Aceste rezultate sunt prezentate în tabelul următor.

Tabelul 4.9. **Nivelul de zgomot magnetic generat de cele două motoare analizate respectiv 7.5 kW/1000 rpm şi 11 kW/1000 rpm**

Modul de alimentare şi frecvenţa de alimentare	**Valoarea medie a zgomotului magnetic modelat prin intermediul programului FLUX 2D [dB]**	
	Motor 7.5 kW/1000 rpm	**Motor 11 kW/1000 rpm**
Invertor 40 Hz	44.8	42.3
Invertor 50 Hz	43.9	43.4
Reţea 50 Hz	39.8	37.9
Invertor 60 Hz	46.4	51.6

Datorită faptului că aceste două motoare sunt identice din punct de vedere constructiv, singura diferenţă este dată de caracteriticile înfăşurărilor statorice , cuantificate prin valorile zgomotului magnetic modelat prezentate în tabelul anterior.

Topologia şi modelul matematic al invertorului implementat pentru analiza zgomotului magnetic au fost relizate în conformitate cu schema reală a invertorului trifazat cu care s-au făcut măsuratorile practice de zgomot.

Din punct de vedere practic reducerea zgomotului magnetic (reducerea armonicilor câmpului) se realizează prin următoarele metode:

- alegerea numărului optim de crestături statorice si rotorice;
- alegerea unei scurtări corespunzătoare a pasului de înfăşurare;
- înclinarea crestăturilor (la nivel de rotor);
- mărirea întrefierului motorului.

Pentru a limita oscilaţia datorată forţelor magnetice, este necesară o analiză foarte minuţioasă a acestor cauze din punctul de vedere al numărului corespunzător de crestături. După cum s-a arătat în capitolul anterior, raportul numărului de crestături din stator şi din rotor are o influenţă esenţială asupra forţelor radiale şi implicit asupra zgomotului total.

CAPITOLUL 5

MĂSURĂRI ALE ZGOMOTULUI TOTAL ÎN CAZUL MOTOARELOR DE INDUCŢIE TRIFAZATE DE RANDAMENT PREMIUM. DETERMINARI EXPERIMENTALE

(STUDIU DE CAZ)

5.1. Generalități

Din perspectivă substanţială măsurarea nivelului de zgomot produs de motoarele asincrone constă în măsurarea nivelului continuu al presiunii acustice A conform valorilor specificate în normativul IEC 60034-9 (Capitolul 1).

Această parte experimentală va prezenta o analiză a nivelelor de zgomot măsurate în cazul celor două motoare studiate. Astfel, pentru fiecare motor s-a întocmit o separare a zgomotelor în acord cu aparatul teoretic descris în subcapitolul 2.1 din structura capitolului 2.

Întreaga bază teoretică de analiză şi măsurare a zgomotului s-a prezentat în cadrul capitolelor anterioare. În structura acestui capitol urmează să prezentăm rezultatele experimentale obţinute prin măsurarea directă a nivelelor de zgomot generate de cele două tipuri de motoare analizate respectiv MAL 160M – 7,5 kW/1000 rpm şi MAL 160L – 11kW/1000 rpm.

Setul de măsurători s-a realizat în camera semianecoică (fig. 5.1) a intreprinderii Electroprecizia Săcele în concordanţă cu standardele actuale (CEI 43-1; ISO 1680/1).



Fig. 5.1. **Camera semianecoică a întreprinderii Electroprecizia Săcele**

Cele două motoare au funcţionat în gol, iar modul de alimentare a fost direct de la reţea, dar şi prin convertor de frecvenţă trifazat, alimentat la frecvenţele 40Hz, 50 Hz , 60 Hz.

Convertorul de frecvenţă trifazat utilizat (fig. 5.2) este de tip ALTIVAR 58 – Telemecanique cu puterea de 15kW, iar frecvenţa de comutaţie (care are un rol semnificativ în generarea zgomotului) este de 4kHz.



***Fig. 5.2*. Convertor de frecvenţă de tip ALTIVAR 58**

Sonometrul utilizat este de tip 2250 Bruel&Kjaer (fig. 5.3) ale cărui caracteristici tehnice au fost prezentate în subcapitolul „*Generalităţi*" din structura capitolului 3.



***Fig. 5.3.* Sonometru Bruel&Kjaer de tip 2250**

În cazul de faţă, analiza zgomotului măsurat, a cuprins separarea zgomotelor generate de motoarele analizate. Particularizând, această separare parcurge următoarele etape:

I. Determinarea zgomotului mecanic+aerodinamic

Aceasta s-a realizat prin antrenarea motorului din exterior (cu ajutorul unei curele de transmisie):
- fără ventilator montat – zgomotul măsurat este zgomotul de rulment
- cu ventilatorul montat – zgomotul măsurat este cel mecanic (zgomot de rulment+aerodinamic)

II. Determinarea zgomotului magnetic

Zgomotul magnetic se determină prin alimentarea motorului direct de la reţea/invertor fără ventilator cuplat. Nivelul de zgomot măsurat în acest caz este dat de zgomotul magnetic + mecanic. Valoarea nivelului de zgomot mecanic se cunoaşte, iar prin eliminarea acesteia rezultă nivelul de zgomot magnetic.

În situaţia în care motorul are ventilatorul montat şi este alimentat, nivelul de zgomot măsurat este cel total generat de motor.În cele ce urmează, măsuratorile de zgomot, determinate prin intermediul

sonometrului, sunt prezentate pentru fiecare motor – sub formă grafică, pe intervale de zgomot (nivele continue ale presiunii acustice ponderate A) de până la 120 dB – respectiv, frecvenţe începând de la 12,5 Hz până la maxim 20 kHz (spectrul audio perceput de urechea umană).

5.2. Măsurări de zgomot pentru motorul de tip MAL 160 M, cu puterea de 7.5kW/1000 rpm

În continuare se vor prezenta măsuratorile **nivelului continuu al presiunii acustice ponderate A – LAeq,** obţinute în cazul motorului de randament IE3 de tip MAL 160M. S-a considerat alimentarea prin invertor la frecvenţele de 40Hz, 50Hz şi respectiv 60Hz dar şi de la reţea.

I. Alimentare prin invertor la frecvenţa de 40 Hz

A. Nivelul de zgomot total

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 68,8 dB.

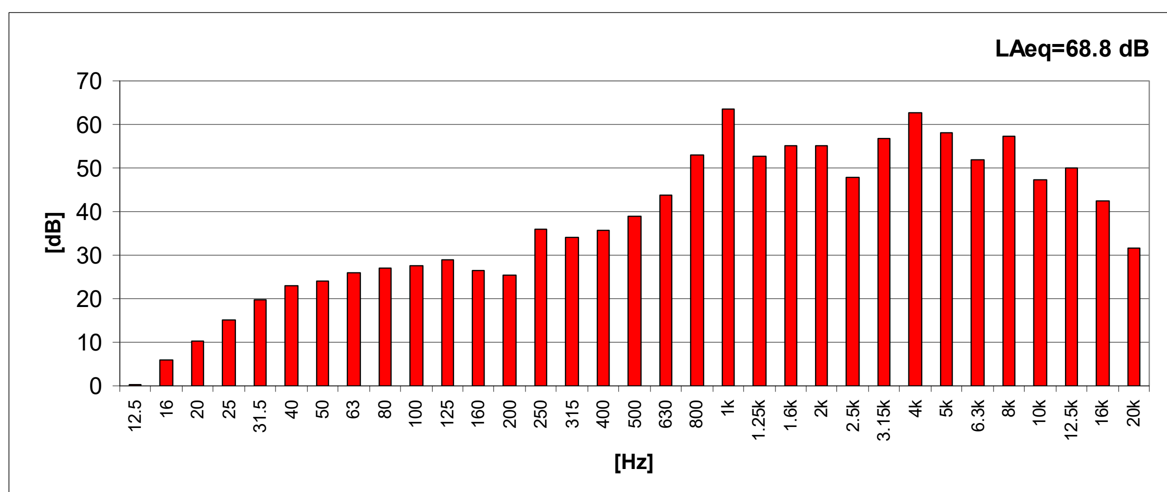


Fig. 5.4. **Nivelul de zgomot total pentru motorul de tip MAL 160 M în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 40 Hz**

B. Nivelul de zgomot magnetic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 49,2 dB.

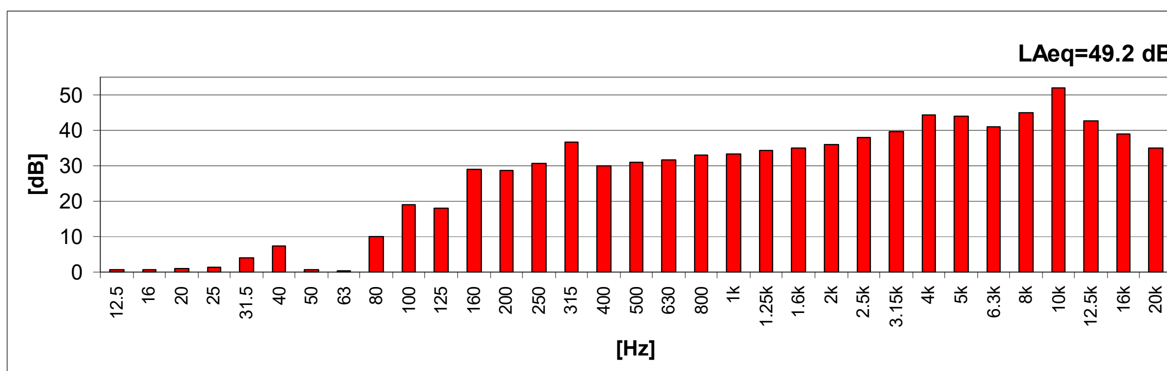


Fig. 5.5. **Nivelul de zgomot magnetic pentru motorul de tip MAL 160 M în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 40 Hz**

C. Nivelul de zgomot mecanic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 8,2 dB.

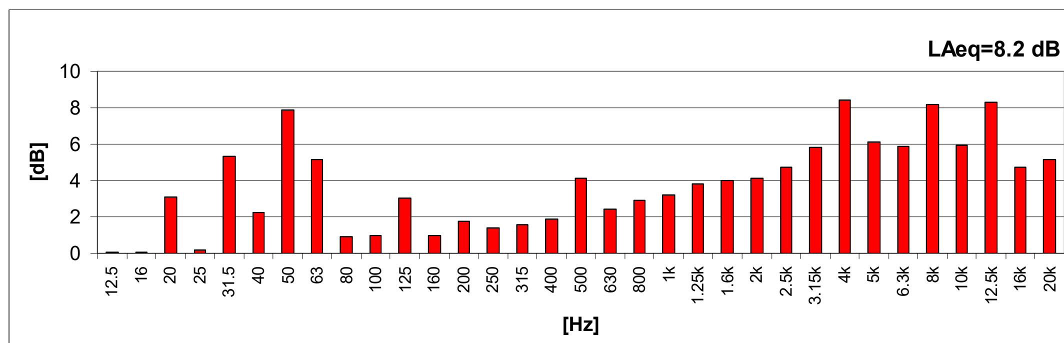


Fig. 5.6. **Nivelul de zgomot mecanic pentru motorul de tip MAL 160 M în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 40 Hz**

D. Nivelul de zgomot aerodinamic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 11,4 dB.

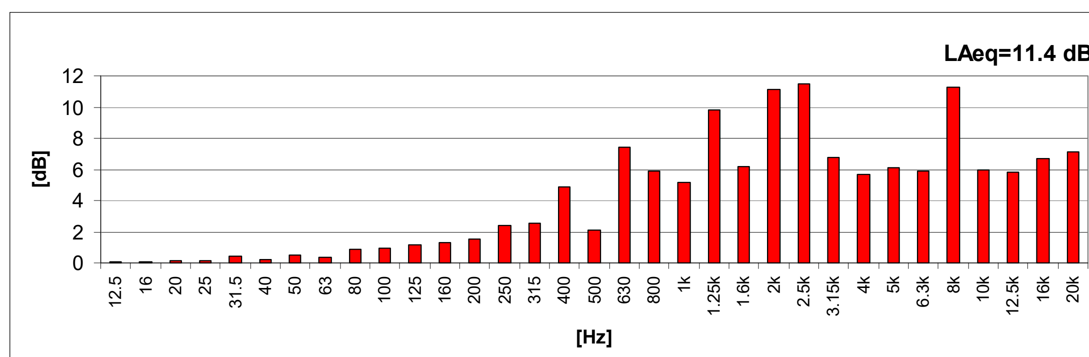


Fig. 5.7. **Nivelul de zgomot mecanic pentru motorul de tip MAL 160 M în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 40 Hz**

II. Alimentare prin invertor la frecvenţa de 50 Hz

A. Nivelul de zgomot total

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 68,0 dB.

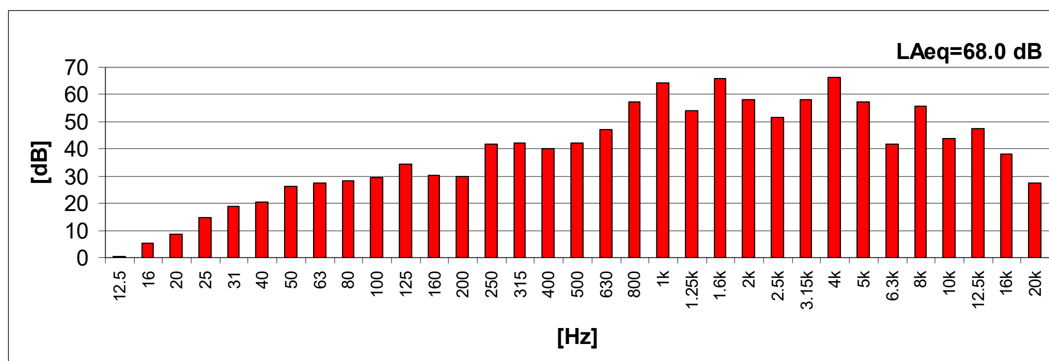


Fig. 5.8.**Nivelul de zgomot total pentru motorul de tip MAL 160 M în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 50 Hz**

B. Nivelul de zgomot magnetic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 47,4 dB.

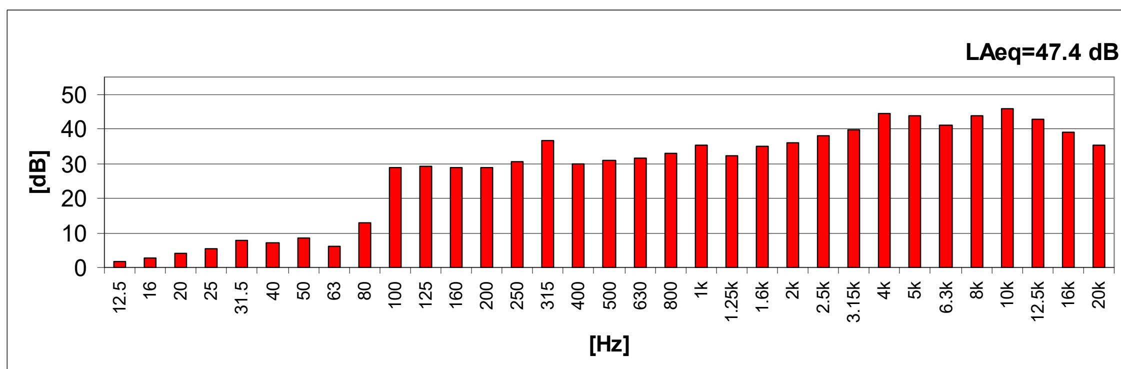


Fig. 5.9. **Nivelul de zgomot magnetic pentru motorul de tip MAL 160 M în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 50 Hz**

C. Nivelul de zgomot mecanic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 8,7 dB.

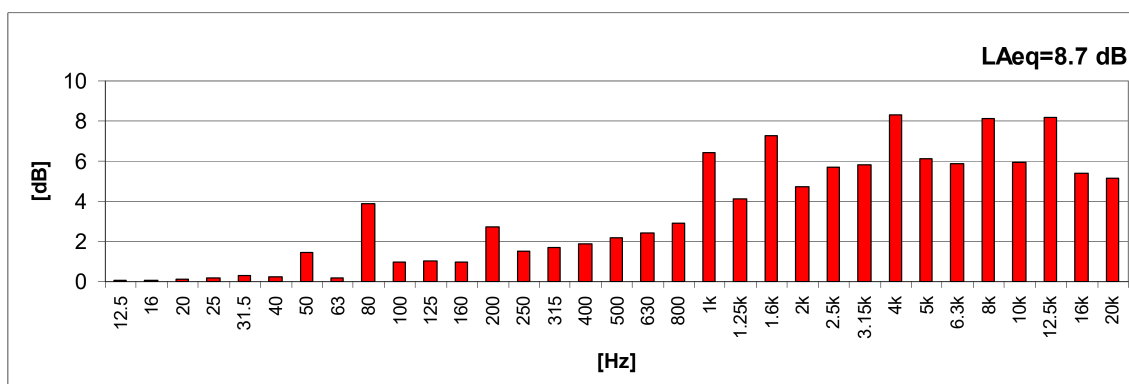


Fig. 5.10. **Nivelul de zgomot mecanic pentru motorul de tip MAL 160 M în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 50 Hz**

D. Nivelul de zgomot aerodinamic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 11,9 dB.

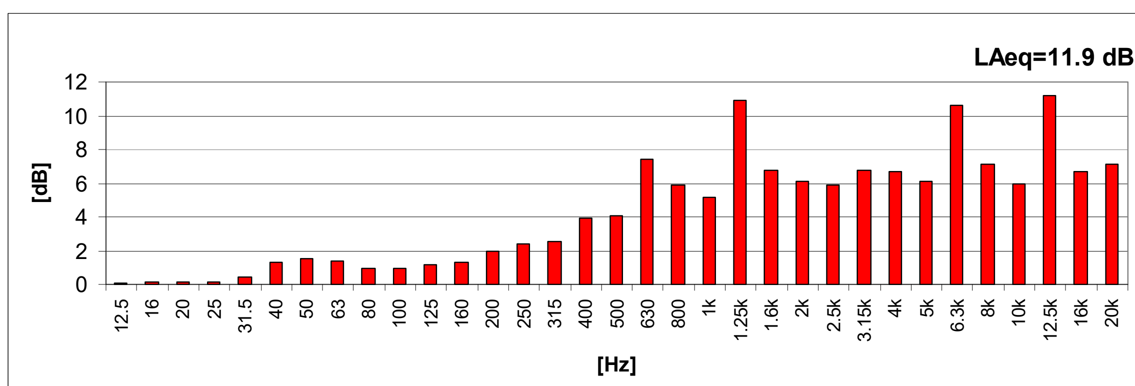


Fig. 5.11. **Nivelul de zgomot mecanic pentru motorul de tip MAL 160 M în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 50 Hz**

III. Alimentare prin invertor la frecvenţa de 60 Hz

A. Nivelul de zgomot total

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 69,3 dB.

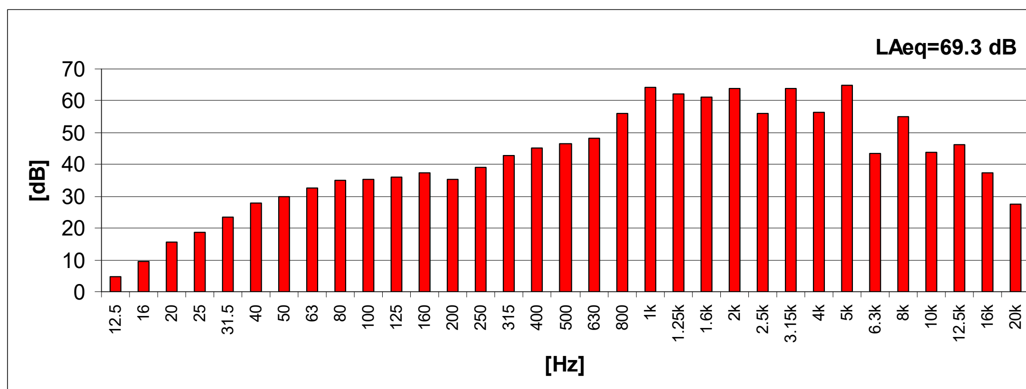


Fig. 5.12. **Nivelul de zgomot total pentru motorul de tip MAL 160 M în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 60 Hz**

B. Nivelul de zgomot magnetic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 47,9 dB.

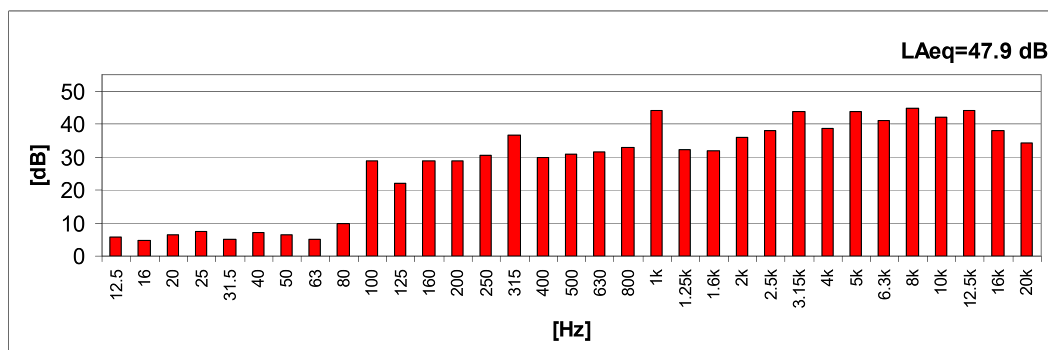


Fig. 5.13. **Nivelul de zgomot magnetic pentru motorul de tip MAL 160 M în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 60 Hz**

C. Nivelul de zgomot mecanic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 8.9 dB.

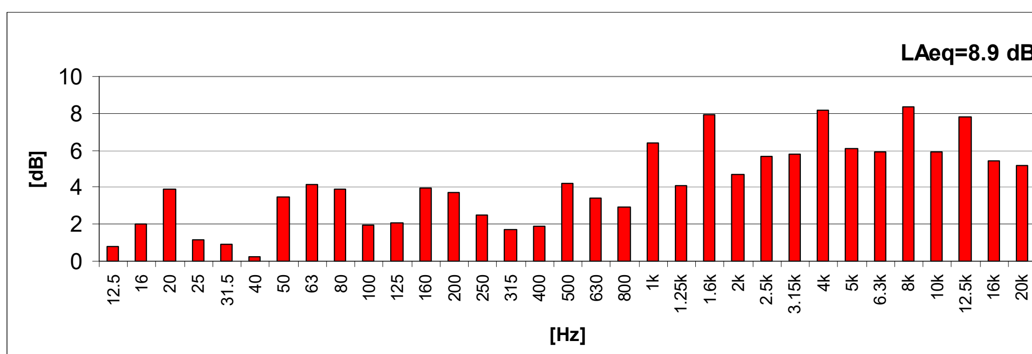


Fig. 4.14. **Nivelul de zgomot mecanic pentru motorul de tip MAL 160 M în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 60 Hz**

D. Nivelul de zgomot aerodinamic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 12,5 dB.

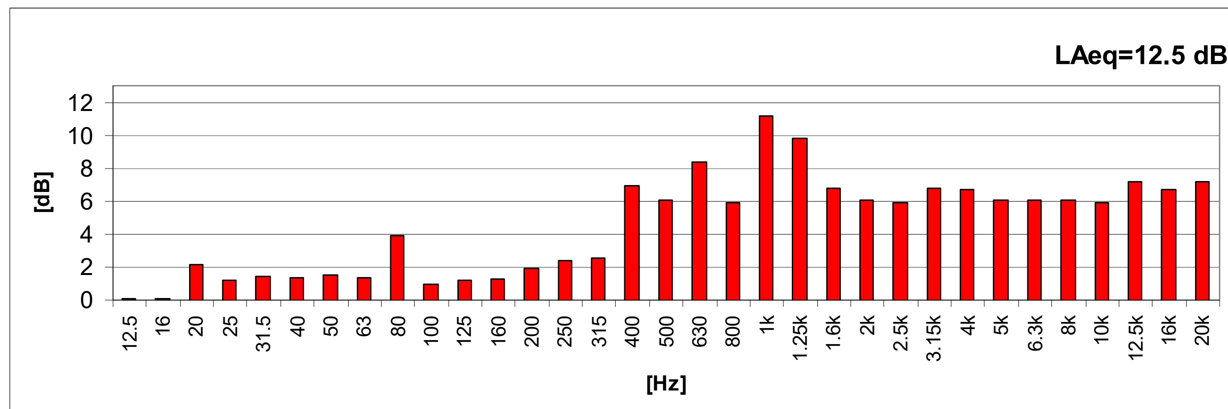


Fig. 4.15. Nivelul de zgomot mecanic pentru motorul de tip MAL 160 M în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 60 Hz

IV. Alimentare directă de la reţea

În cazul alimentării directe de la reţeaua trifazată, datorită curentului mare absorbit în momentul pornirii, motorul fost alimentat prin intermediul circuitului stea-triunghi, care a redus curentul nominal absorbit. Întreaga instalaţie a fost plasată în exteriorul camerei semianecoice, astfel încât măsurătorile nu au fost afectate.

A. Nivelul de zgomot total

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 66.1 dB.

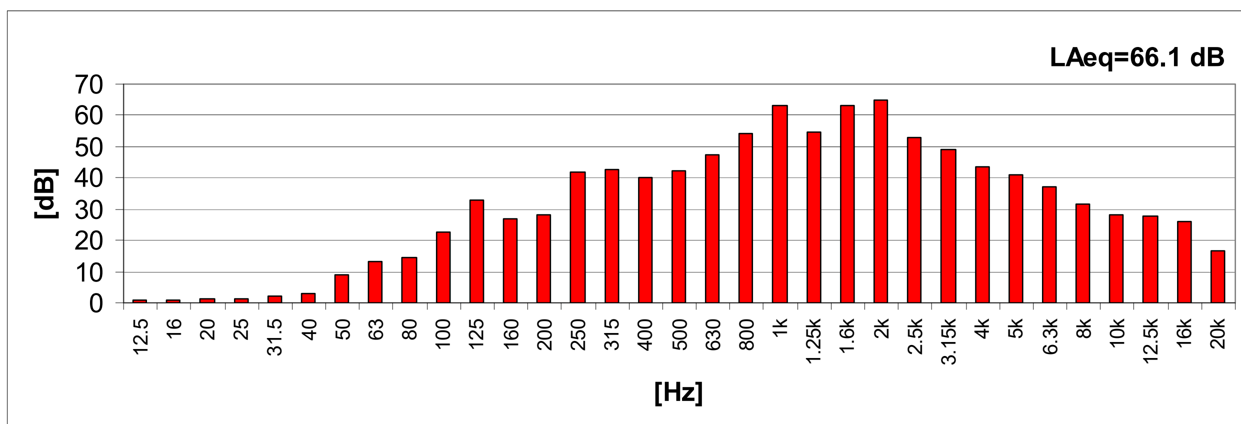


Fig. 5.16. Nivelul de zgomot total pentru motorul de tip MAL 160 M în cazul alimentării directe de la reţeaua trifazată

B. Nivelul de zgomot magnetic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 45,6 dB.

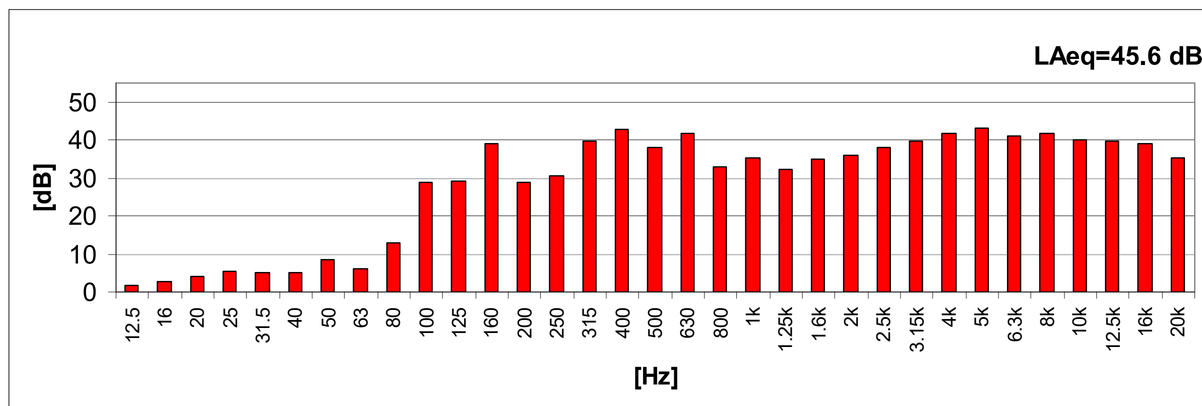


Fig. 5.17. **Nivelul de zgomot magnetic pentru motorul de tip MAL 160 M în cazul alimentării directe de la reţeaua trifazată**

C. Nivelul de zgomot mecanic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 8,6 dB.

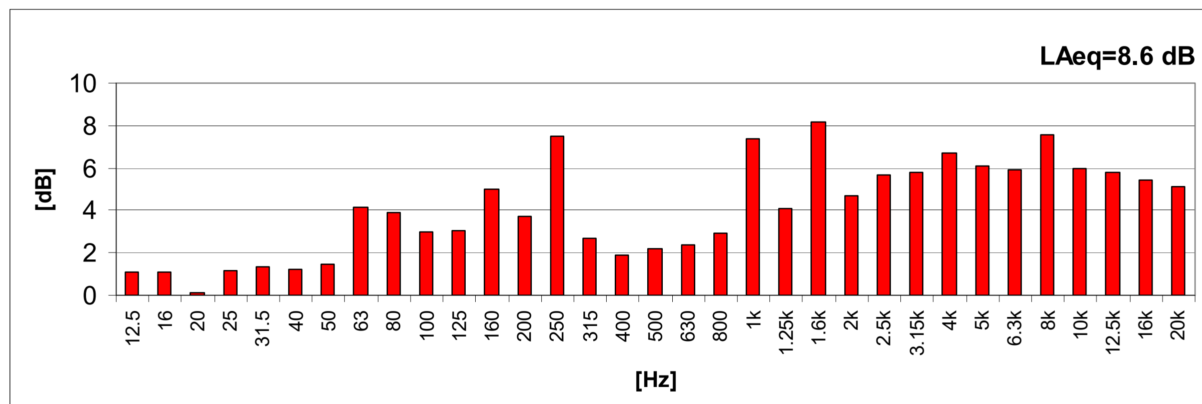


Fig. 5.18. **Nivelul de zgomot mecanic pentru motorul de tip MAL 160 M în cazul alimentării directe de la reţeaua trifazată**

D. Nivelul de zgomot aerodinamic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 11,9 dB.

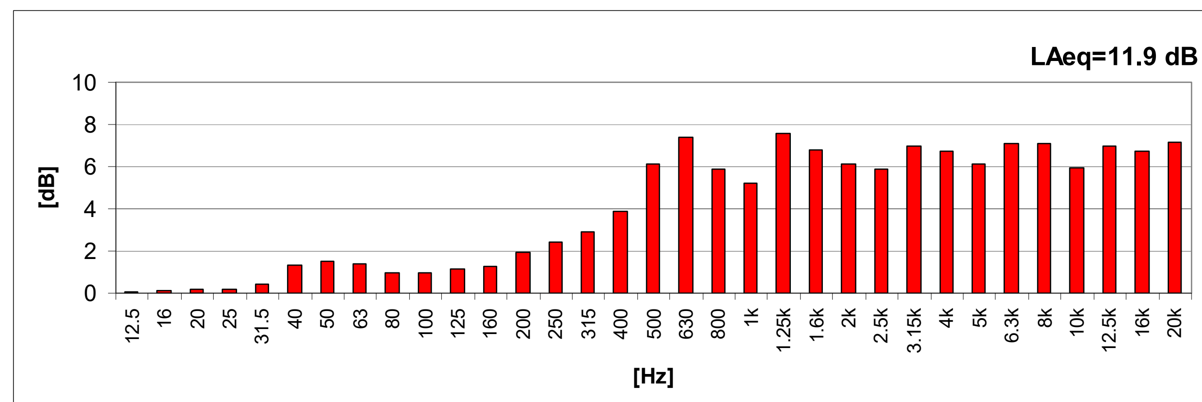


Fig. 5.19. **Nivelul de zgomot mecanic pentru motorul de tip MAL 160 M în cazul alimentării directe de la reţeaua trifazată**

Amplasarea sonometrului la distanţa de 1m faţă de sursă –(motor), (conform reglementărilor prezentate în capitolul 1) s-a efectuat prin intermediul unui trepied după cum se prezintă în figura 5.20.



Fig. 5.20. Amplasarea sonometrului la nivelul motorului analizat

5.3. Măsurări de zgomot pentru motorul de tip MAL 160 L, cu puterea de 11kW/1000 rpm

În mod similar s-au efectuat măsurători asupra **nivelului continuu al presiunii acustice ponderate A** şi pentru motorul de tip MAL 160L, cu puterea de 11 kW. Rezultatele obţinute sunt prezentate după algoritmul primului motor studiat (subcapitolul 5.2). În prima fază motorul este alimentat prin invertor la cele trei frecvenţe 40 Hz, 50 Hz şi respectiv 60 Hz, iar la final alimentat direct de la reţeaua trifazată.

I. Alimentare prin invertor la frecvența de 40 Hz

A. Nivelul de zgomot total

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 69,6 dB.

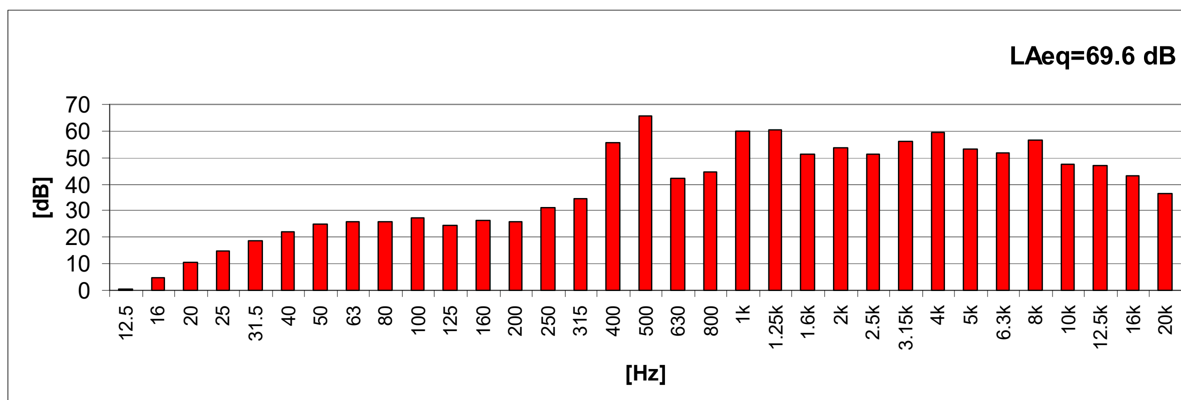


Fig. 5.21. **Nivelul de zgomot total pentru motorul de tip MAL 160 L în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 40 Hz**

B. Nivelul de zgomot magnetic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 50,4 dB.

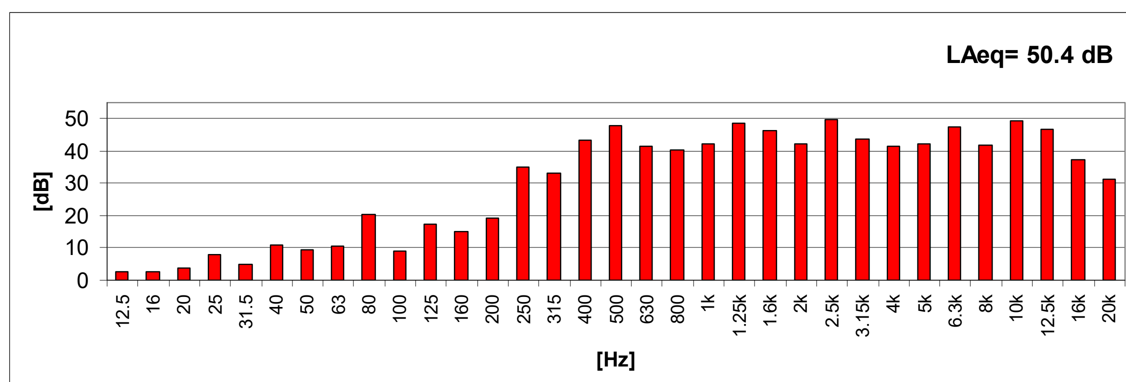


Fig. 5.22. **Nivelul de zgomot magnetic pentru motorul de tip MAL 160 L în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 40 Hz**

C. Nivelul de zgomot mecanic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 8,3 dB.

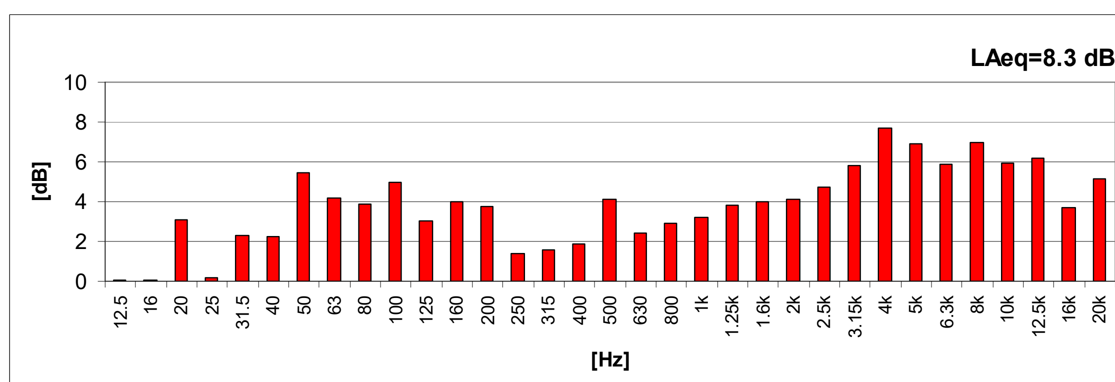


Fig. 5.23. **Nivelul de zgomot mecanic pentru motorul de tip MAL 160 L în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 40 Hz**

D. Nivelul de zgomot aerodinamic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 10,9 dB.

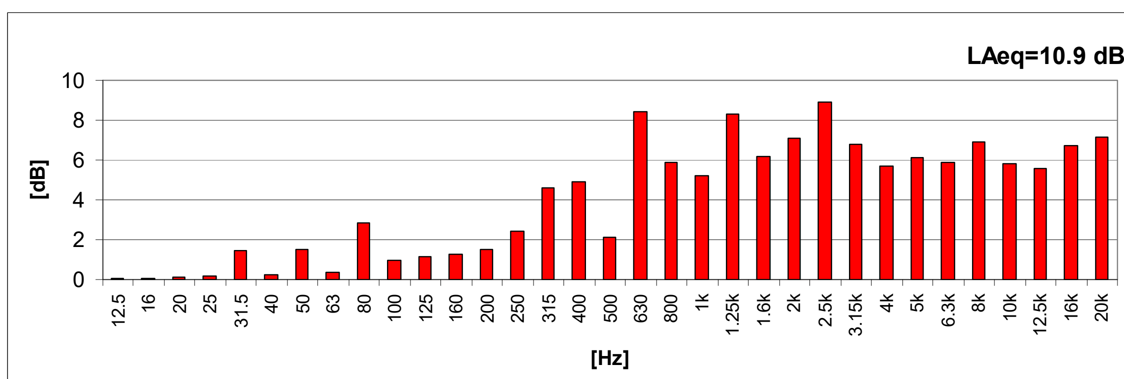


Fig. 5.24. **Nivelul de zgomot mecanic pentru motorul de tip MAL 160 L în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 40 Hz**

II. Alimentare prin invertor la frecvența de 50 Hz

A. Nivelul de zgomot total

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 68,8 dB.

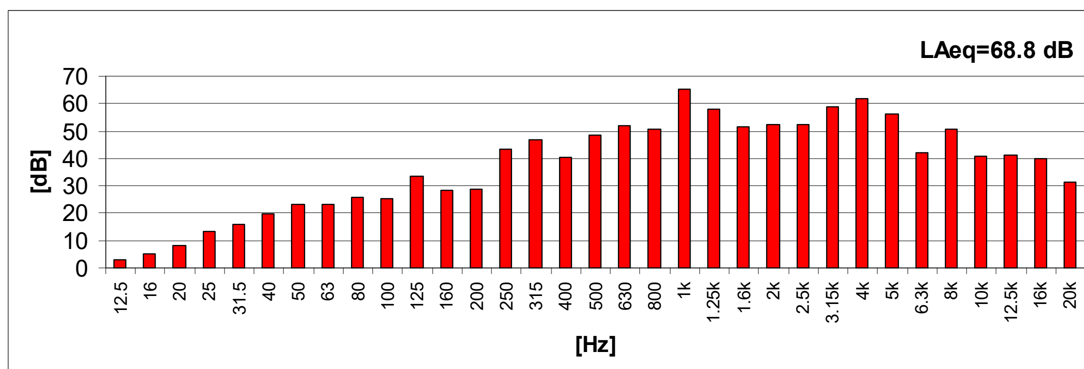


***Fig. 5.25.* Nivelul de zgomot total pentru motorul de tip MAL 160 L în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 50 Hz**

B. Nivelul de zgomot magnetic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 49,2 dB.

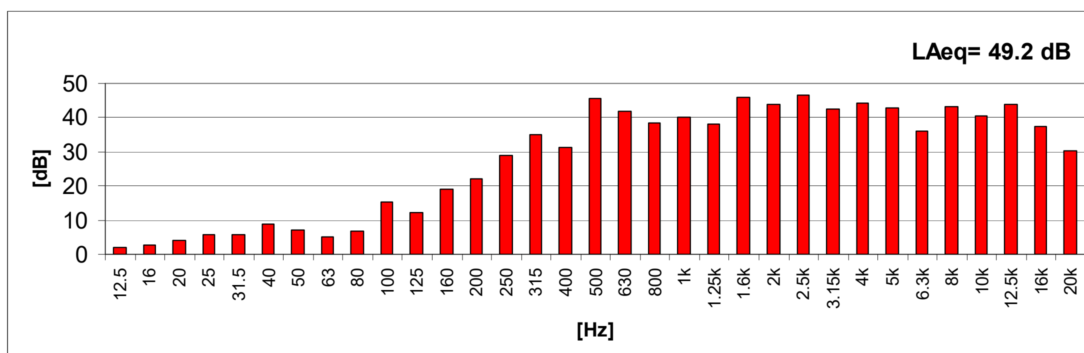


***Fig. 5.26.* Nivelul de zgomot magnetic pentru motorul de tip MAL 160 L în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 50 Hz**

C. Nivelul de zgomot mecanic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 8,4 dB.

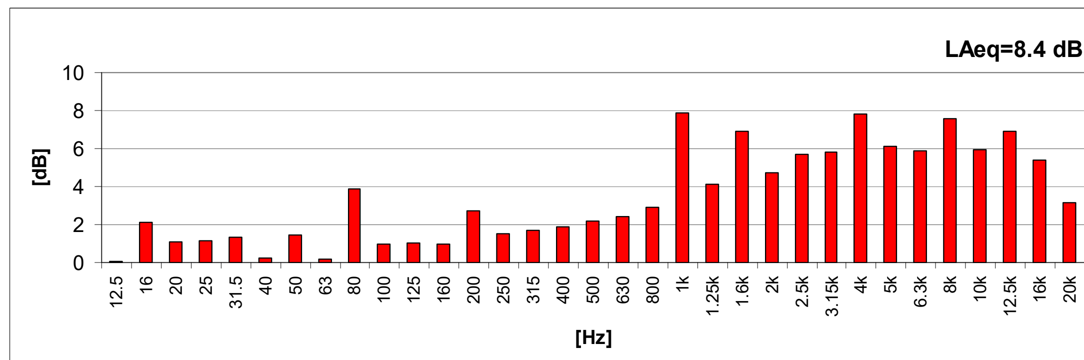


***Fig. 5.27.* Nivelul de zgomot mecanic pentru motorul de tip MAL 160 L în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 50 Hz**

D. Nivelul de zgomot aerodinamic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 11,2 dB.

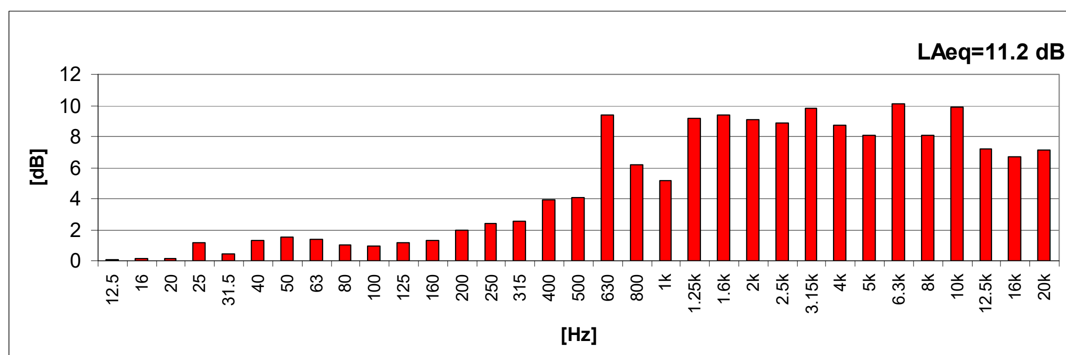


Fig. 5.28. **Nivelul de zgomot mecanic pentru motorul de tip MAL 160 L în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 50 Hz**

III. Alimentare prin invertor la frecvența de 60 Hz

A. Nivelul de zgomot total

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 69,4 dB.

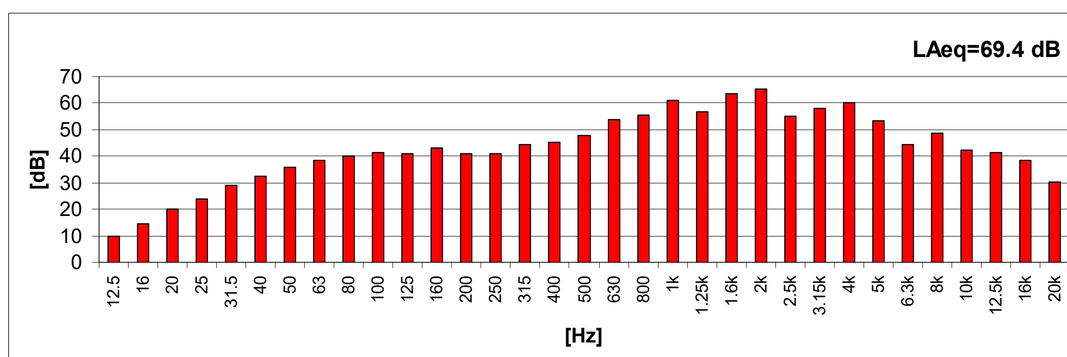


Fig. 5.29. **Nivelul de zgomot total pentru motorul de tip MAL 160 L n cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 60 Hz**

B. Nivelul de zgomot magnetic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 48,6 dB.

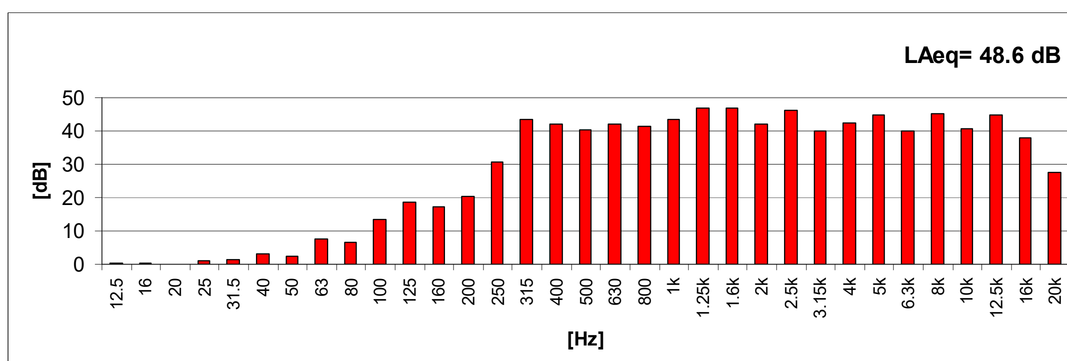


Fig. 5.30. **Nivelul de zgomot magnetic pentru motorul de tip MAL 160 L în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 60 Hz**

C. Nivelul de zgomot mecanic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 7,9 dB.

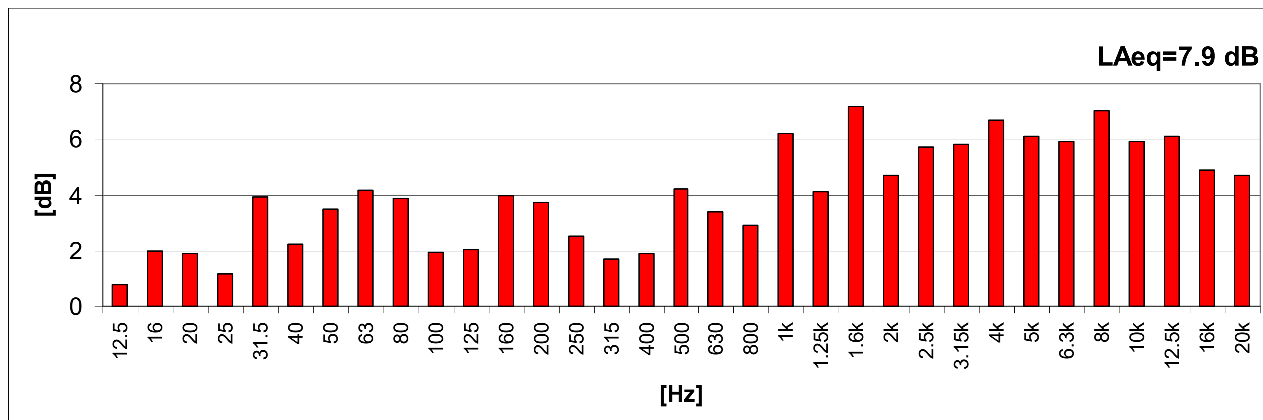


Fig. 5.31. **Nivelul de zgomot mecanic pentru motorul de tip MAL 160 L în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 60 Hz**

D. Nivelul de zgomot aerodinamic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 12,9 dB.

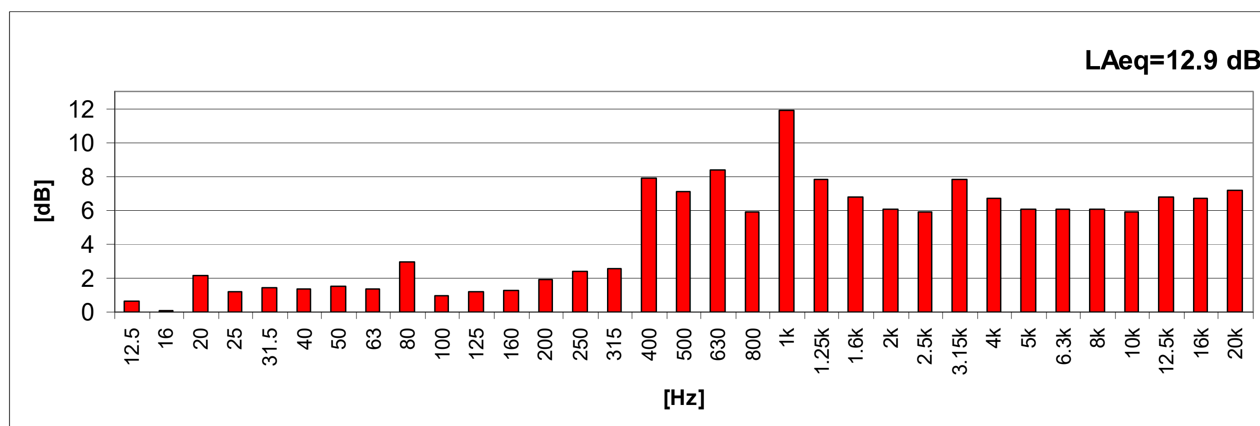


Fig. 5.32. **Nivelul de zgomot mecanic pentru motorul de tip MAL 160 L în cazul alimentării prin invertor la frecvenţa de 60 Hz**

IV. Alimentare directă de la reţea

În situaţia alimentării directe de la reţea, s-a procedat în mod similar cu situaţia anterioară, respectiv, reducerea curentului absorbit la pornire prin metoda de alimentare stea-triunghi. Nivelurile de zgomot obţinute sunt prezentate în subpunctele următoare:

A. Nivelul de zgomot total

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 67,9 dB.

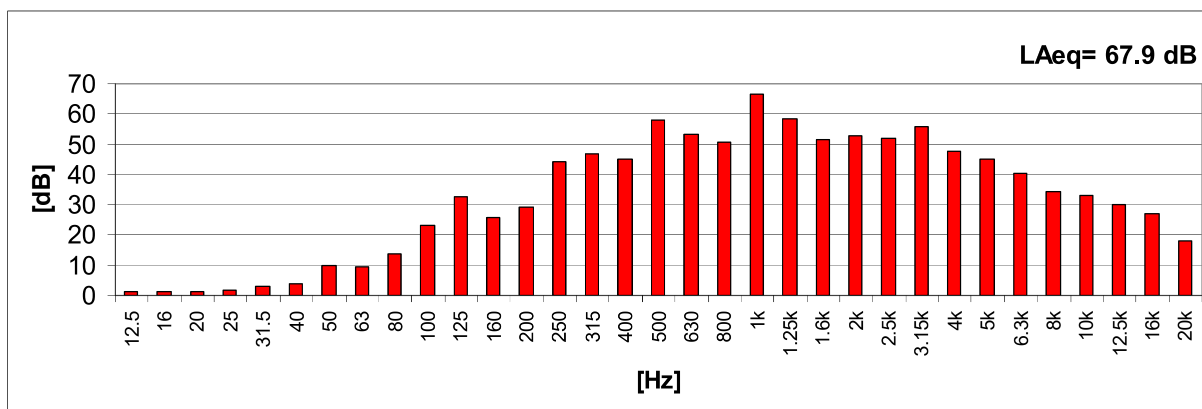


Fig. 5.33. **Nivelul de zgomot total pentru motorul de tip MAL 160 L în cazul alimentării directe de la reţeaua trifazată**

B. Nivelul de zgomot magnetic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 47,3 dB.

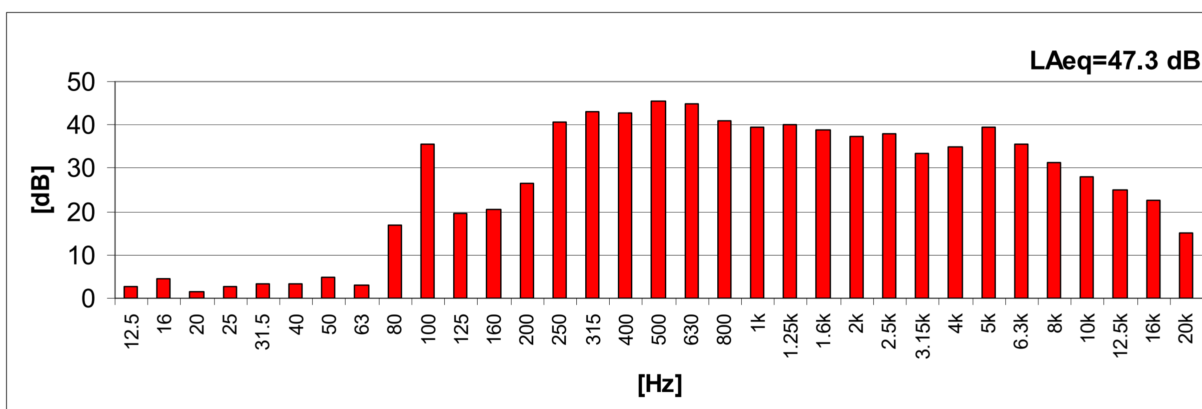


Fig. 5.34. **Nivelul de zgomot magnetic pentru motorul de tip MAL 160 L în cazul alimentării directe de la reţeaua trifazată**

C. Nivelul de zgomot mecanic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 8,6 dB.

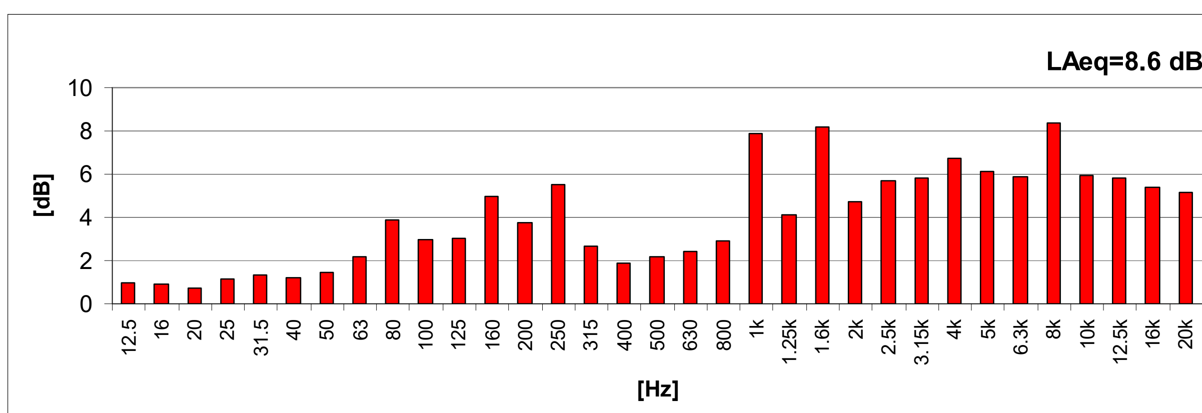


Fig. 5.35. **Nivelul de zgomot mecanic pentru motorul de tip MAL 160 L în cazul alimentării directe de la reţeaua trifazată**

D. Nivelul de zgomot aerodinamic

Nivelul continuu al presiunii acustice ponderate A: 12 dB.

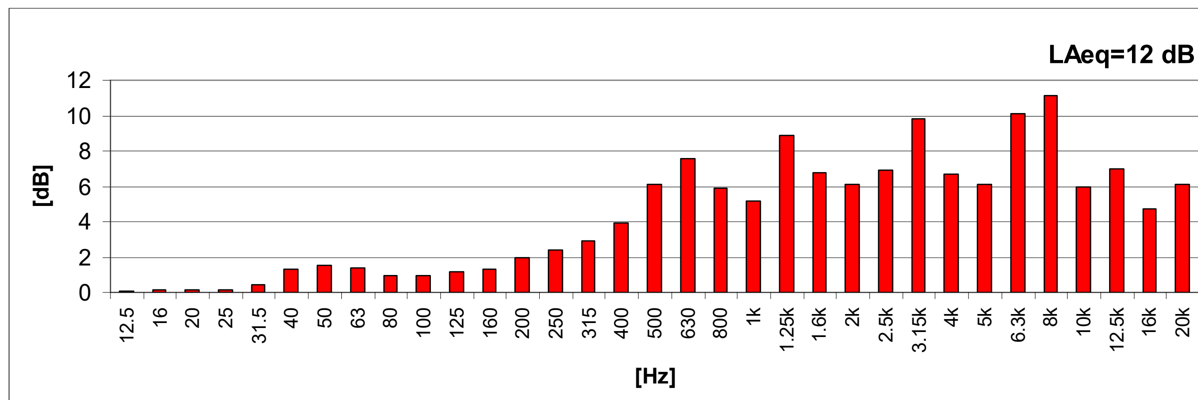


Fig. 5.36. **Nivelul de zgomot mecanic pentru motorul de tip MAL 160 L în cazul alimentării directe de la reţeaua trifazată**

Întreaga instalaţie de măsurare a nivelului de zgomot pentru motorul asincron de randament IE3 cu puterea de 11 kW/1000 rpm este prezentată în figura de mai jos.



Fig. 5.37. **Instalaţia de măsurare a zomotului pentru motorul de tip MAL 160 L – 11kW/1000 rpm**

5.4. Concluzii

Toate măsurătorile de zgomot efectuate, asupra celor două motoare prezentate mai sus, se încadrează în clasele de zgomot specificate în standardul CEI 60034, partea a 9 a. Din punct de vedere formal, se observă că cea mai mare pondere, la generarea zgomotului total, (în cazul ambelor

motoare analizate) o are zgomotul magnetic. Fapt dovedit şi din analizele predictive realizate împreună cu producătorul.

Odată cu implementarea categoriei de randament premium IE3, zgomotele de natură mecanică au fost reduse, prin înlocuirea rulmenţilor cu role în rulmenţi cu bile, care au un nivel de zgomot propriu scăzut. Şi, totodată, prin dimensionarea optimă a ventilatorului, care generează în mod direct zgomotul aerodinamic.

Zgomotul magnetic (după cum s-a prezentat în capitolele anterioare) este dat de mai mulţi factori constructivi, respectiv: distribuţia neuniformă a crestăturilor, înclinarea crestăturilor, calitatea tolelor. Pierderile datorate calităţii tolelor [18,38] au o însemnătate substanţială în generarea de armonici şi, implicit, în creşterea zgomotului magnetic.

Ponderea nivelelor de zgomot caracteristice, pentru cele două motoare studiate, este prezentată în figurile 5.38 respectiv 5.39.

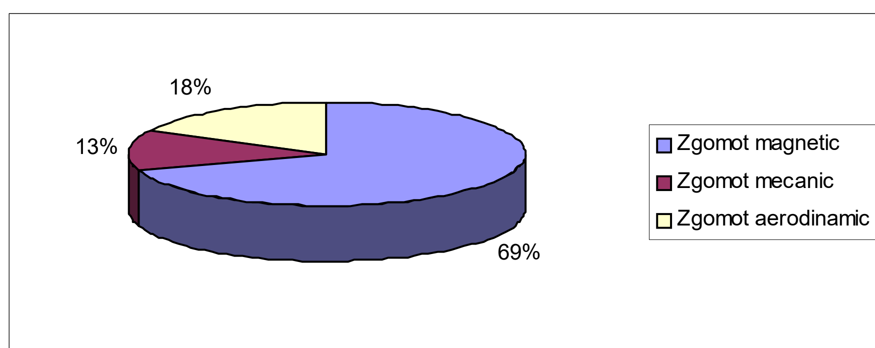


Fig. 5.38. **Ponderea nivelelor de zgomot caracteristice pentru motorul de tip MAL 160 M -7,5kW-1000rpm**

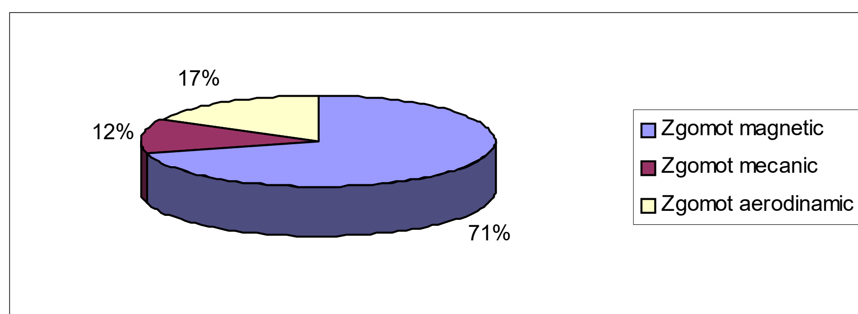


Fig. 5.39. **Ponderea nivelelor de zgomot caracteristice pentru motorul de tip MAL 160 L -11kW-1000rpm**

Valorile caracteristice de zgomote sunt foarte apropiate pentru cele două motoare, întrucât geometria acestora este identică. Diferenţa constă, evident, în lungimea pachetului de tole şi, implicit, a miezurilor magnetice rotorice şi statorice, datorită diferenţelor de putere (7,5kW respectiv 11kW).

Pentru atenuarea vibraţiilor mecanice, ce pot apărea în regim normal de funcţionare, asupra conductoarelor care ies din înfăşurări şi sunt conectate la cutia de borne, s-a practicat o protejare a acestora cu un burete amortizor de vibraţii şi zgomote în spaţiul rămas dintre fiecare spiră şi carcasă. Această particularitate este prezentată grafic în figurile de mai jos.

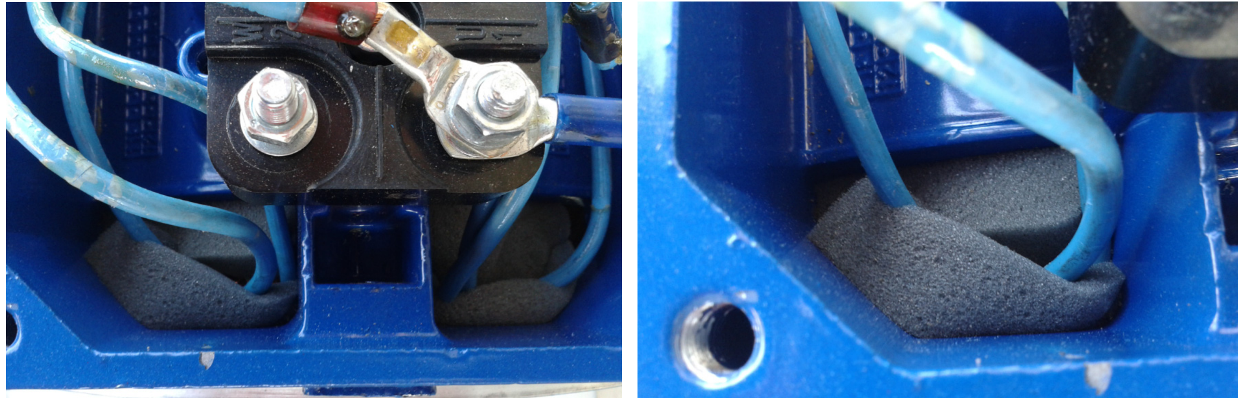


Fig. 4.58. **Protecţia împotriva vibraţiilor a conductoarelor de legatură în cazul motorului de tip MAL 160M**

Atât nivelul de zgomot cât şi cel de vibraţii au o reflecţie directă în randamentul motoarelor asincrone. Orice vibraţie peste limite indică faptul că s-a produs o anomalie în funcţionarea motorului şi, implicit, nivelul de zgomot generat va creşte.

BIBLIOGRAFIE

[1] Akcay, H., Germen, E., "*Subspace-Based Identification of Acoustic Noise Spectra in Induction Motors"*, IEEE Transactions on "*Energy Conversion*" Volume:PP, Issue: 99, pp.1 – 9, Jul. 2014.

[2] Anghel, B. „*Studiul performanţelor energetice ale maşinilor electrice utilizând programe bazate pe metoda elementului finit*", Teză de doctorat, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi", Iaşi, 2013.

[3] Anghel, B., Livadaru, L., Simion, Al., Munteanu, A., Vlăsceanu, S., "*Upgrade of an induction motor to superior power level*", Proceedings of „*SIELMEN 2013 Conference*", Chişinău, 2013.

[4] Baptista, B.R.O., Abadi, M.B., Mendes, A.M.S., "*The performance of a three-phase induction motor fed by a three-level NPC converter with fault tolerant control strategies*", Proceedings of „*9th IEEE International Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED)*", pp. 497-504, Valencia, 2013.

[5] Belmans, R., D'Hondt, L.,Vandenput, A. J., Geysen,W. "*Analysis of the audible noise of three-phase squirrel cage induction motor supplied by inverters*", IEEE "*Transactions on Industry Applications*", Vol. IA-23, No. 5, pp. 842-847, 1987.

[6] Belmans, R., Verdyck D., Geysen, W., Findlay, R.D. "*Electro-mechanical analysis of the audible noise of inverter-fed squirrel-cage induction motor*", Conference record of the 1989 IEEE "*Industry Applications Society Annual Meeting*", Vol. 1, pp. 232-237, 1989.

[7] Belmans, R., Verdyck, D., Geysen, W., Findlay, R.D. "*Electro-mechanical analysis of the audible noise of inverter-fed squirrel-cage induction motor*", Conference record of the 1989 IEEE "*Industry Applications Society Annual Meeting*", Vol. 1, pp. 232-237, 1989.

[8] Belmans, R., Verdyck, D., Geysen, W., Findlay, R.D. "*Electro-mechanical analysis of the audible noise of an inverter-fed squirrel-cage induction motor*", IEEE "*Transactions on Industry Applications*", Vol. 27, No. 3, pp. 539-544, 1991.

[9] Bhattacharya, N.K., Naskar, A.K., Sarkar, D., „*Computation of temperature distribution in the rotor of an induction motor during star-delta starting in two dimensional rectangular co-ordinates*", Proceedings of *"1th International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems (CATCON)*", Kolkata – Bengal, India, 2013.

[10] Bianchi, N. „*Electrical Machine Analysis Using Finite Elements*" CRC. Press, USA, 2005.

[11] Binojkumar, A.C., "*Experimental Investigation on the Effect of Advanced Bus-Clamping Pulsewidth Modulation on Motor Acoustic Noise*", IEEE Transactions "*Industrial Electronics*",Volume:60 Issue: 2, Mar. 2013.

[12] Boldea, I. „*Transformatoare şi maşini electrice*", Editura "*Politehnică*" ,Timişoara, 2002.

[13] Cedrat Group, "*Flux2D & 3D Applications, User's guide – Volume 4, solving and results post-processing*", Meylan, France: www.cedrat.com, 2007.

[14] Cedrat Group "*Flux2D/3D Applications, User's guide, Phisical Applications: Magnetic Electric and Therma",* Meylan , France: www.cedrat.com, 2010.

[15] Cojan, M., Simion, Al., Anghel, B. „*About the influence of thermal conditions upon power reserve value considering real condition of practice for rotary electrical machines*", Buletinul Institutului Politehnic din Iaşi Tomul L(LIV), Fasc. 5, Electrotehnică, Energetică, Electronică ,2004.

[16] Cojan, M., Simion, Al., Romila, E., Anghel, B. "*Analysis upon heat transfer in rotary electrical machines to determine the parameters of the thermalmodel using FEM*", Buletinul Institutului Politehnic din Iaşi, Tomul L (LIV), Fasc. 5, Electrotehnică, Energetică, Electronică, 2004.

[17] Dlala, E., Saitz, J., Arkkio, A., „*Inverted and Forward Preisach Models for Numerical Analysis of Electromagnetic Field Problems*", Magnetics, *IEEE Transactions* ,Volume:42 ,Issue: 8, July 2006.

[18] Dobzhanskyi, O., Gouws, R., "*Study on energy losses in industrial sector caused by low actual efficiency of induction motors,* "Proceedings of „*International Conference on the Industrial and Commercial Use of Energy (ICUE)*", pp.1-5, Cape Town, Africa, 2014.

[19] Dorrell, D.G., "*The challenges of meeting IE4 efficiency standards for induction and other machines"*, Proceedings of „*IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*" pp.213-218, Busan, Korea, 2014.

[20] Dumitrescu, R., Simion, Al., Livadaru L., Munteanu, A., "*FEM Based Analysis of an Induction Motor with Ring Winding and Multiple Number of Pole Pairs*", Proceedings Of „*Simpozionul Naţional de Electrotehnică Teoretică*", SNET, , pp. 459-464, Bucureşti, 2007.

[21] Ene, Ghe., Pavel, C., „*Introducere în tehnica izolării vibraţiilor şi a zgomotului*" Editura „*Matrix Rom*" Bucureşti, 2012.

[22] Faiz, J., Ebrahimi, B., Akin, B., Toliyat, H., "*Comprehensive eccentricity fault diagnosis in induction motors using finite element method*", IEEE "*Transactions on Magnetics*", Vol. 45, No. 3, pp. 1764-1767, 2009.

[23] Fernandes Neves, A.B., De Leles Ferreira Filho A., Borges de Mendonca, M.V., „*Effects of voltage unbalance on torque and efficiency of a three-phase induction motor*", Proceedings of "*16th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP")*, Bucureşti, România, 2014.

[24] Finley, W., Loutfi, M., Sauer, B.J., "*Motor vibration problems – Understanding and identifying",* Proceedings of IEEE-IAS/PCA Conference "*Cement Industry Technical (CIC)*" pp.1-20, Orlando, Florida, 2013.

[25] Fireţeanu V., „*Analiza în element finit. Studiul maşinilor electrice*" , Editura „*Printech*" Bucureşti, 2011.

[26] Fireţeanu, V., Constantin, A.I., Leconte, V., Şandru M., "*Multiphysic model of the transient heating of the squirrel-cage rotor of induction motors*", Proceedings of *"14th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment*", Braşov, 2014.

[27] Fnaiech, M., A., Khadraoui S., Nounou, H.N., Guzinski, J., Bhattacharyya, S.P., "*A Measurement-Based Approach for Speed Control of Induction Machines*" Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, IEEE Journal*, Volume:2 Issue: 2, Jan. 2014.

[28] Gafiţanu, M., Merticaru, V., Focşa, V., ‚*Vibraţii şi zgomote* „ Editura "*Junimea*" Iaşi, 1980.

[29] Gieras J.F., Wang, C., Lai J.C., *"Noise of polyphase electric motors"*, CRC Press, "*Taylor& Francis Group*", Boca Raton, Florida, Statele Unite ale Americii, 2006.

[30] Gieras, J.F., „*Advencements in electric machines.*" Editura „*Rockford",* Illinois, USA, 2008.

[31] Gongora, W., Silva, H., Godoy, W., „*Neural approach for bearing fault detection in three phase induction motors*", Proceedings of "*9th IEEE International Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED)*" , pp. 566-572, Valencia, 2013.

[32] Gonzalez, A., Arjona, M.A., "*New starting system for three-phase induction motors by using a part-winding and capacitors*", Proceedings of "*7th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2014)*", pp. 1-5, Manchester, 2014.

[33] Goyal, A., Agarwal, P., Bhatti, J., Agarwal, V., „*Three phase induction motor drive using single-phase to three-phase cycloinverter with SVPWM technique*", Proceedings of „*Students Conference on Engineering and Systems (SCES)*" pp. 1-5, Allahabad, 2014.

[34] Harlisca, C., Szabo L., Frosini, L., "*Diagnosis of rolling bearings faults in electric machines through stray magnetic flux monitoring*", Proceedings of "*8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*", pp.1-6, Bucureşti 2013.

[35] Houquan, Z., Guihou, Z., Jin, C., "*Analysis and Study of Skewed Slot Tooth Distance on Low Electromagnetic Noise of Three-Phase Induction Motor with Squirrel Cage Rotor*", Proceedings of "*6th International Conference on Electromagnetic Field Problems and Applications (ICEF)*" ,pp. 1-4, Dalian, Liaoning, China, 2012.

[36] I.E.C. 60034 –Standard, „*Maşini electrice rotative. Partea 9 – Limite de zgomot*", 2006.

[37] **Nistor, C., Ghe.,** Scutaru, Ghe., Peter, I.,"*Determination of magnetic noise for a 7.5 kW three-phase induction motor fed directly from the grid",* Proceedings of "*14th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment*", Braşov, 2014.

[38] **Nistor, C., Ghe.,** "*Analysis of noise and heating for three-phase induction motor fed by inverter",* Proceedings of "*14th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment*", Braşov, 2014.

Nistor Ciprian Gheorghe

A absolvit studii de Licență, Masterat și Doctorat la Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor din cadrul Universității ”*Transilvania*” din Brașov precum și studii de Teologie Ortodoxă la Facultatea de Teologie Ortodoxă ”*Andrei Șaguna*” din cadrul Universității ”*Lucian Blaga*” Sibiu.

Actualmente este Preot ortodox (onorific) la Capela ”*Sf. Ier. Luca al Crimeei și Sf. Ier. Andrei Șaguna*” din Brașov, cadru didactic la Universitatea ”Transilvania” din Brașov (Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor) și președinte al Asociației ”*Sfântul Ierarh Luca al Crimeei*” din Brașov.

Domenii de interes (cercetare): neuroștiință, mașini electrice, spiritualitate ortodoxă, biofizică, electronică de putere, microcontrollere, embedded systems.



ISBN: 978-606-37-0395-9
ISBN: 978-606-37-0396-6